

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
Кафедра «Робототехника и техническая кибернетика»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
Г. Б. Масальский
подпись
« 23 » 06 2016 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

15.03.06 Мехатроника и робототехника
Разработка мобильной платформы

Руководитель

Г. Г. Голых
подпись, дата

заведущий, к.т.н.
должность, учёная степень

Ю. Г. Голых

Выпускник

И. С. Коваленко
подпись, дата

И. С. Коваленко

Нормоконтролёр

В. Н. Куликова
подпись, дата

В. Н. Куликова

Красноярск 2016

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
Кафедра «Робототехника и техническая кибернетика»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г. Б. Масальский
подпись
«_____» _____ 2016 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы**

Перв. примен.		Справ. №		Подпись и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подпись и дата		Инв. № подл.														
<table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дата</td> <td rowspan="2">БР – 15.03.06 ПЗ</td> <td>Лист</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>3</td> </tr> </table>														Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ	Лист						3
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ	Лист																				
						3																				

Перв. примен.	<p>Студенту <u>Коваленко Игорю Сергеевичу</u></p> <p>Группа <u>ФЭ 12-08Б</u> Направление (специальность) <u>15.03.06</u></p> <p><u>«Мехатроника и робототехника»</u></p> <p>Тема выпускной квалификационной работы <u>«Разработка мобильной платформы»</u></p> <p>Утверждена приказом по университету № 4593/с от 4.04.2016</p> <p>Руководитель ВКР <u>Ю. Г. Голых, кафедра РиТК, доцент</u></p> <p>Исходные данные для ВКР:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. силовые платы управления; 2. программный пакет MatLAB; 3. программный пакет AVRStudio. <p>Перечень разделов ВКР</p> <p>Глава 1 – Анализ существующих мобильных платформ</p> <p>Глава 2 – Проектирование конструкции мобильной платформы</p> <p>Глава 3 – Выбор элементов электрической части мобильной платформы</p> <p>Глава 4 – Разработка системы управления мобильной платформой</p> <p>Глава 5 – Испытания мобильной платформы</p> <p>Глава 6 – Техничко-экономическое обоснование проекта</p> <p>Глава 7 – Безопасность и экологичность робота</p> <p>Глава 8 – Разработка учебно-методического комплекса</p> <p>Перечень графического или иллюстративного материала с указанием основных чертежей, плакатов, слайдов</p> <p>Лист 1 – Распределение основных затрат</p> <p>Лист 2 – Габаритные размеры МП</p> <p>Лист 3 – 3D-модель мобильной платформы</p> <p>Лист 4 – Результаты прочностного расчёта</p> <p>Лист 5 – Структурная и функциональная схемы МП</p> <p>Лист 6 – Структурная схема системы управления</p> <p>Руководитель ВКР _____ Ю. Г. Голых</p> <p>Задание принял к исполнению _____ И. С. Коваленко</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____ 2016 г.</p>																	
	Справ. №																	
Подпись и Дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и Дата	Инв. № подл.													
<table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпис</td> <td>Дата</td> <td rowspan="2"> <p>БР – 15.03.06 ПЗ</p> </td> <td>Лист</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>3</td> </tr> </table>						Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата	<p>БР – 15.03.06 ПЗ</p>	Лист						3
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата	<p>БР – 15.03.06 ПЗ</p>	Лист												
						3												

Перв. примен.	РЕФЕРАТ				
	<p>Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка мобильной платформы» содержит 71 страниц текстового материала, 20 использованных источников, 6 листов графического материала.</p> <p>МОБИЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА, ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ, ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ПРИВОД, ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА, ТРЁХКОНТУРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, ПЛАНЕТАРНЫЙ РЕДУКТОР, КОНСТРУКТОРСКИЙ РАСЧЁТ.</p> <p>Цели проекта:</p> <ul style="list-style-type: none"> – провести анализ существующих мобильных платформ и роботов на их основе; – разработать модель мобильной платформы, изготовить детали для неё и собрать робота; – изучить принципиальную электрическую схему; – на основе данной электрической схемы разработать систему управления. – написать программу, реализующую двухконтурную систему положения. – в программном комплексе MatLAB разработать систему управления высокого уровня. <p>В ходе дипломного проектирования была разработана мобильная платформа, изучены принципиальные электрические схемы и реализована двухконтурная система управления данной платформой.</p> <p>Был произведён расчёт основных элементов мобильной платформы с помощью программы SolidWorks Simulation Express.</p> <p>В конечном итоге был подготовлен учебно-методический комплекс для изучения мобильных платформ, для внедрения его в учебный материал по изучению кинематики мобильных роботов.</p>				
Справ. №					
Подпись и дата					
Изм. № дубл.					
Взам. инв. №					
Изм. № подл.					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата	
БР – 15.03.06 ПЗ					Лист
					3

МОБИЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА, ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ, ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ПРИВОД, ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА, ТРЁХКОНТУРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, ПЛАНЕТАРНЫЙ РЕДУКТОР, КОНСТРУКТОРСКИЙ РАСЧЁТ.

- провести анализ существующих мобильных платформ и роботов на их основе;
- разработать модель мобильной платформы, изготовить детали для неё и собрать робота;
- изучить принципиальную электрическую схему;
- на основе данной электрической схемы разработать систему управления.
- написать программу, реализующую двухконтурную систему положения.
- в программном комплексе MatLAB разработать систему управления высокого уровня.

Был произведён расчёт основных элементов мобильной платформы с помощью программы SolidWorks Simulation Express.

В конечном итоге была подготовлен учебно-методический комплекс для изучения мобильных платформ, для внедрения его в учебный материал по изучению кинематики мобильных роботов.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1 Анализ существующих мобильных платформ	8
1.1 Задачи и тенденции развития мобильных платформ	8
1.2 Классификация кинематических моделей колёсных мобильных платформ	14
1.3 Анализ систем управления мобильной платформой.....	19
1.4 Постановка задачи	22
2 Проектирование конструкции мобильной платформы	23
2.1 Создание 3D-модели платформы	23
2.2 Прочностной расчёт основных элементов робота в SolidWorks.....	25
2.2.1 Расчёт несущей конструкции	27
2.2.2 Расчёт заднего вала.....	28
2.3 Детализовка конструкции мобильной платформы	30
3 Выбор элементов электрической части мобильной платформы.....	33
3.1 Выбор электродвигателя	33
3.2 Обзор силовой платы управления	34
3.2.1 Обзор микроконтроллера XМega А.....	36
3.3 Радиоканал	38
3.4 Питание мобильной платформы.....	38
3.5 Структурная схема мобильной платформы	39
3.6 Функциональная схема мобильной платформы	40
4 Разработка системы управления мобильной платформой.....	41
4.1 Структурная схема системы управления.....	41
4.2 Разработка контура скорости.....	41
4.3 Разработка контура положения	42
4.4 Разработка верхнего уровня системы управления	42
4.5 Протокол обмена данными между верхним и нижним уровнями управления	43
5 Испытания мобильной платформы	46
5.1 Испытания работы контура скорости	46
5.2 Испытания работы контуры положения.....	47
6 Техничко-экономическое обоснование проекта	49
6.1 Расчёт затрат на основное оборудование, программное обеспечение и изготовление мобильной платформы	49
6.2 Затраты на заработную плату	50
6.3 Затраты на электроэнергию	52
6.4 Затраты на амортизацию оборудования	52
6.5 Расходы на аренду помещения	53
6.6 Расчёт сметы затрат на разработку мобильной платформы.....	53
7 Безопасность и экологичность мобильной платформы	55
7.1 Безопасность мобильной платформы	55
7.1.1 Безопасность оборудования мобильной платформы	55
7.1.2 Безопасность исходных материалов	56

Перв. примен.	СОДЕРЖАНИЕ				
	Введение..... 7				
Справ. №	1 Анализ существующих мобильных платформ 8				
	1.1 Задачи и тенденции развития мобильных платформ 8				
	1.2 Классификация кинематических моделей колёсных мобильных платформ 14				
	1.3 Анализ систем управления мобильной платформой..... 19				
	1.4 Постановка задачи 22				
	2 Проектирование конструкции мобильной платформы 23				
	2.1 Создание 3D-модели платформы 23				
	2.2 Прочностной расчёт основных элементов робота в SolidWorks..... 25				
	2.2.1 Расчёт несущей конструкции 27				
	2.2.2 Расчёт заднего вала..... 28				
	2.3 Детализовка конструкции мобильной платформы 30				
	3 Выбор элементов электрической части мобильной платформы..... 33				
	3.1 Выбор электродвигателя 33				
	3.2 Обзор силовой платы управления 34				
	3.2.1 Обзор микроконтроллера XMega A..... 36				
	3.3 Радиоканал..... 38				
	3.4 Питание мобильной платформы..... 38				
	3.5 Структурная схема мобильной платформы 39				
	3.6 Функциональная схема мобильной платформы 40				
	4 Разработка системы управления мобильной платформой..... 41				
	4.1 Структурная схема системы управления..... 41				
	4.2 Разработка контура скорости..... 41				
	4.3 Разработка контура положения 42				
	4.4 Разработка верхнего уровня системы управления 42				
	4.5 Протокол обмена данными между верхним и нижним уровнями управления 43				
	5 Испытания мобильной платформы 46				
	5.1 Испытания работы контура скорости 46				
	5.2 Испытания работы контуры положения..... 47				
	6 Технико-экономическое обоснование проекта 49				
	6.1 Расчёт затрат на основное оборудование, программное обеспечение и изготовление мобильной платформы 49				
	6.2 Затраты на заработную плату 50				
	6.3 Затраты на электроэнергию 52				
	6.4 Затраты на амортизацию оборудования 52				
	6.5 Расходы на аренду помещения 53				
	6.6 Расчёт сметы затрат на разработку мобильной платформы..... 53				
	7 Безопасность и экологичность мобильной платформы 55				
	7.1 Безопасность мобильной платформы 55				
	7.1.1 Безопасность оборудования мобильной платформы 55				
	7.1.2 Безопасность исходных материалов 56				
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата
Инв. № подл.	БР – 15.03.06 ПЗ				
	Лист 5				

Перв. примен.						Справ. №						Подпись и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.						Лист
7.1.3 Безопасность при монтажных и ремонтных работах 56																					БР – 15.03.06 ПЗ	6
7.1.4 Безопасность при транспортировке и хранении 57																						
7.1.5 Безопасность при размещении 57																						
7.1.6 Требования безопасности к профессиональному отбору 57																						
7.1.7 Пожарная безопасность 58																						
7.1.8 Контроль выполнения требований безопасности 58																						
7.1.9 Безопасность при чрезвычайных ситуациях 58																						
7.2 Экологическая безопасность мобильной платформы 58																						
7.2.1 Экологическая безопасность исходных материалов 58																						
8. Разработка учебно-методического комплекса 60																						
8.1 Лабораторная работа №1 60																						
8.1.1 Теоретические сведения 60																						
8.1.2 Ход работы..... 63																						
Заключение 69																						
Список использованных источников 70																						

Перв. примен.																	
Справ. №																	
Подпись и дата																	
Инв. № дубл.																	
Взам. инв. №																	
Подпись и дата																	
Инв. № подл.																	
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-end;"> <table border="1" style="width: 40%;"> <tr> <td>Изм</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпис</td> <td>Дата</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table> <div style="width: 50%; text-align: center;"> <p>БР – 15.03.06 ПЗ</p> </div> <table border="1" style="width: 10%;"> <tr> <td>Лист</td> </tr> <tr> <td>7</td> </tr> </table> </div>						Изм	Лист	№ докум.	Подпис	Дата						Лист	7
Изм	Лист	№ докум.	Подпис	Дата													
Лист																	
7																	

ВВЕДЕНИЕ

Характерной чертой современной научно-технической революции является широкое внедрение роботов в быту, в сфере производства и научных исследованиях.

Роботы представляют собой универсальные устройства для воспроизведения двигательных и интеллектуальных функций человека. Одним из важных классов их являются мобильные роботы. Практической целью создания роботов является передача им тех видов деятельности, которые для человека трудоёмки, тяжелы, монотонны, вредны для здоровья и жизни. Это, прежде всего – вспомогательные производственные операции (загрузка и выгрузка установок, станков, автоматов); основные производственные операции (сварка, окраска, резка, сборка и т.д.); работы в так называемых экстремальных условиях (под водой, в космосе, в радиоактивных и ядовитых средах).

Роботы применяются для комплексной автоматизации производства, роста производительности труда, улучшения качества продукции. От традиционных средств автоматизации промышленные роботы отличаются универсальностью, возможностью их быстрой переналадки, что позволяет создавать на базе универсального оборудования роботизированные технологические комплексы, гибкие автоматизированные производства. В результате развития робототехники человечество получает возможность решать принципиально новые научные и производственные задачи.

В отличие от стационарных, большинство мобильных роботов отличаются размерами, возможностью передвижения. Чтобы мобильный робот работал продуктивно и корректно мобильному роботу необходима надёжная конструкция, долго работающие электронные компоненты и точная система управления. Далее пойдет речь о видах роботов, требований к их разработке и управлению. И в конечном итоге это перерастёт в разработку новой мобильной платформы.

Перв. примен.	<h1>1 Анализ существующих мобильных платформ</h1> <p>В широком смысле понятие «мобильная платформа» включает в себя, прежде всего представление о некотором механическом аппарате, способном с той или иной степенью самостоятельности перемещаться в пространстве, выполняя поставленную для него цель. Мобильная платформа состоит из двух основных частей – исполнительных систем и информационно-управляющей системы с сенсорной системой. В свою очередь исполнительные системы включают манипуляционную систему в основном в виде механических манипуляторов и системы передвижения, присущей только мобильным роботам.</p> <p>Способность автономно и целенаправленно перемещаться в достаточно сложных условиях неразрывно связана со способностью быстро справляться с задачами, для решения которых требуется исключительно высокий уровень интеллекта. Более того, при современном уровне развития техники, построение устройств, по своим чисто механическим возможностям сравнимых с ногами человека или животного, вызывает значительные затруднения. Все механические устройства, предназначенные для передвижения в пространстве - танки, тракторы, автомобили и другие – выполняют свои функции под непосредственным управлением человека. Не имеют принципиальных отличий от перечисленных устройств и различного рода радиоуправляемые аппараты – человек хотя и находится на расстоянии, но, тем не менее, контролирует каждый “шаг” дистанционно управляемых машин. На первый взгляд к числу автономных мобильных устройств можно было бы отнести новейшие электровозы с системами автоматического управления. Однако не следует забывать о том, что в данном случае автономность достигается за счет очень жестких ограничений, накладываемых на условия передвижения: поезд движется только по рельсам, которые ко всему прочему требуется обнести надежной оградой, так как автоматика в отличие от машиниста не может подать сигнал об опасности замешкавшемуся на пути пешеходу или животному.</p>				
	Справ. №	<h2>1.1 Задачи и тенденции развития мобильных платформ</h2> <p>Можно выделить четыре принципиально различных типа мобильных роботов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – наземные; – воздухоплавающие; – водоплавающие; – подземные; – космические; <p>Наземные мобильные роботы и платформы обычно подразделяются на три больших класса: колесные наземные мобильные роботы или платформы, шагающие наземные мобильные роботы или платформы и гибридные наземные мобильные роботы. Помимо этих трех наиболее многочисленных классов мобильных роботов существует большое количество специализированных мобильных роботов, ориентированных на ограниченное применение. К их числу</p>			
Подпись и Дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и Дата	Инв. № подл.
	<div>Лист</div> <div>7</div>				
Изм	Лист	№ докум.	Подпис	Дата	

Перв. примен.					
Справ. №					
Подпись и Дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Инв. № подл.					

относятся рельсовые роботы, адсорбционные роботы (способные передвигаться по крутым участкам, цепляясь за поверхность с помощью вакуумных присосок), роботы на магнитной или воздушной подушке, а также не попадающие ни в одну из перечисленных групп ползающие роботы. Мобильные роботы, предназначенные для выполнения только транспортных операций по перевозке грузов - *робокары* – часто не имеют манипуляторов, а снабжены упрощенными одно- и двухступенными погрузо-разгрузочными устройствами. Последние операции могут выполняться стационарными манипуляторами, находящимися в местах остановки транспортных роботов.

Среди множества разнообразных типов мобильных роботов в настоящее время наибольший практический интерес вызывают колесные наземные мобильные роботы. Предложено большое количество принципов классификации колесных наземных мобильных роботов: Если воспользоваться классификацией по способу управления работой колес, то можно выделить следующие три группы колесных роботов: автомобильная группа (поворот осуществляется только за счет передних колес); группа с произвольным независимым управлением поворотом каждого колеса влево или вправо (например, кресло-каталка); группа роботов, способных перемещаться во всевозможных направлениях. Большинство применяемых на практике колесных мобильных роботов относится ко второй группе, т.е. данный метод управления оказывается наиболее важным. Что касается роботов, колеса которых могут поворачиваться в любую сторону, то они пока находятся на стадии экспериментальных исследований и опытных испытаний.

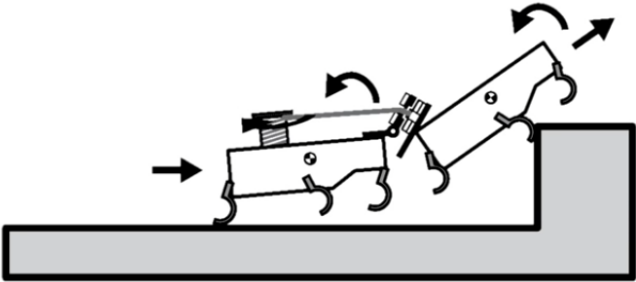
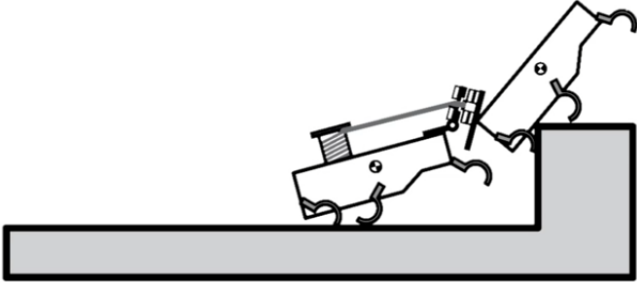
Среди шагающих мобильных наземных роботов практический интерес представляют конструкции с разным числом конечностей – от многоногих шагающих аппаратов, напоминающих сороконожку, до роботов с 8, 6, 5, 4, 3 и 2 конечностями. Кроме того, в исследовательских центрах и научных лабораториях изучаются принципы создания безногих мобильных аппаратов, способных перемещаться подобно змеям или морским моллюскам. На практике потребность в шагающих аппаратах возникает в связи с необходимостью использования роботов для передвижения по местности с большим количеством препятствий или неровностей, а также так, где от него требуется умение взбираться и спускаться по ступенькам обычной лестницы.

Таблица 1.1 – Способы управления мобильными платформами

Тип мобильного аппарата	Способ реализации управления
Колёсные	Автомобили; аппараты с независимым управлением поворотом колес влево или вправо; аппараты с произвольным выбором направления движения.
Шагающие	Многоногие аппараты; аппараты с 8, 6, 5, 3, 2 или 1 конечностями.

Изм	Лист	№ докум.	Подпис	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
						8

Перв. примен.	Окончание таблицы 1.1				
	Гибридные	Аппараты, способные перемещаться как при помощи колес, так и при помощи конечностей.			
Справ. №	Специализированные	Адсорбционные (вакуумные) аппараты; мобильные аппараты на магнитной или воздушной подушке; рельсовые аппараты; ползающие аппараты, змееподобные, извивающиеся при движении аппараты.			
	<p><i>Мобильные роботы специального назначения.</i> К таким роботам обычно относят роботы, способные автоматически перемещаться по неровному полу, на открытой местности или по каким-либо другим специфическим поверхностям. Типовые специфические поверхности включают произвольную неровность (открытый участок), уступ, лестницу, стену. Для перемещения по перечисленным специфическим поверхностям помимо колесных тележек применяются гусеничные механизмы, шагающие аппараты-педипуляторы, тележки с адсорбционными присосками, а также механизмы, способные при движении помогать себе руками.</p> <p><i>Мобильный робот, способный преодолевать препятствия типа “уступ”.</i> Он состоит из двух практически одинаковых секций. Каждая секция представляет собой короткую тележку с несколькими парами дугообразных пластин относительно большого диаметра. Тележки попарно соединены между собой гибкой сцепкой пружинного типа. При встрече с препятствием, высота которого может превосходить диаметр колес, тележки двухзвенного механизма последовательно, одна за другой вскарабкиваются на уступ.</p>				
Подпись и Дата					
	Рисунок 1.1 – Робот VelociRoACH				
Инв. № подл.					Лист 9
Инв. № инв.					БР – 15.03.06 ПЗ
Взам. инв. №					Изм Лист № докум. Подпис Дата
Инв. № дубл.					Изм Лист № докум. Подпис Дата

Перв. примен.	<p>Преодоление уступа осуществляется следующим образом. Колеса передней тележки, достигнув уступа, упираются в него и продолжают вращаться. За счет силы трения колес о вертикальную стенку уступа, а также под напором второй секций первая тележка начинает подниматься. Так как задняя тележка может оказать достаточно большое давление на переднюю, то сила трения между колесами первой тележки и стенкой весьма велика и проскальзывание практически исключается. В результате первая тележка, поднимаясь все выше, достигает вершины уступа. Взобравшись на уступ, она начинает увлекать за собой вторую тележку. Таким образом, вторая тележка поднимается не только за счет силы трения о стенку, зависящей от величины давления, которое оказывает на нее последняя тележка, но и за счет натяжения сцепки от первой тележки. Как только первая тележка оказалась наверху, она втягивает за собой вторую тележку, и уступ преодолен.</p>				
Справ. №	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>1</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>2</p>  </div> </div> <p style="text-align: center;">Рисунок 1.2 – Процесс подъёма</p> <p>В рассматриваемом методе преодоления высоких уступов нашли применение два основных принципа, широко используемым при построении других транспортных механизмов аналогичного назначения. Один из них – это увеличение трения колес передней тележки о стену за счет давления, прикладываемого со стороны задних тележек, расположенных на ровном участке. Собственно, благодаря этому тележке удастся вскарабкаться на уступ. Другой – применение составных тележек, при этом каждая из тележек должна иметь определенную свободу относительных перемещений.</p> <p><i>Мобильные роботы, способные перемещаться по стене.</i> Для перемещения по вертикальной стене, очевидно, необходимо каким-то образом зацепляться за поверхность стены. Наиболее распространенные методы зацепления основаны на использовании различных адсорбционных механизмов. В качестве таких механизмов могут использоваться, например, вакуумные присоски, сходные по принципу действия со щупальцами осьминога. Присоски выполняются в виде опрокинутых чашечек, плотно прилегающих к поверхности стены; эффект зацепления достигается за счет создания отрицательного давления в полости чашечки в результате удаления (откачки) оттуда воздуха. Если стена и</p>				
Подпись и Дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и Дата					
Инв. № подл.					
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Перв. примен.	<p>конечности выполнены из соответствующих металлов, зацепления можно добиться, используя магнитные свойства этих материалов.</p> <p>Наиболее интересным роботом является квадрокоптер или мультикоптер, имеющий колёсную базу, которая позволяет ему за счёт прижимной силы, создаваемой винтами, двигаться по любой наклонной поверхности вплоть до движения в перевернутом виде.</p>				
Справ. №					
	<p>Рисунок 1.3 – Квадрокоптер, имеющий колёсную базу</p>				
	<p>Шагающие роботы. Особый раздел робототехники составляют шагающие системы передвижения и основанные на них транспортные машины. Они являются предметом робототехники потому, что механические ноги – педипуляторы (от латинского слова <i>pes, pedis</i> – нога) – наиболее близки другому основному объекту робототехники – манипуляторы. Однако значение и потенциальные области применения шагающих систем машин выходят за пределы робототехники. Способ передвижения с помощью ног (шагание, бег, прыгание), как известно, является наиболее распространенными в живой природе. Однако в технике он ещё не получил заметного применения прежде всего из-за сложности управления.</p> <p>Развитие робототехники создало необходимую научно-техническую основу для реализации этого принципиально нового для техники способа передвижения и для создания нового типа транспортных машин – шагающих.</p> <p>Шагающий способ представляет основной интерес для движения по заранее неподготовленной местности с препятствиями. Традиционные колесные и гусеничные транспортные машины оставляют за собой непрерывную колею, тратя на это значительно большую энергию, чем в случае передвижения шагами, когда взаимодействие с грунтом происходит только в местах упора стопы. Помимо этого, шагающий способ передвижения обладает и большей проходимостью на пересеченной местности вплоть до возможности передвигаться прыжками, преодолевать препятствия и т.п. При шагающем способе меньше разрушается грунт, что, например, важно в тундре. При движении по достаточно гладким и подготовленным поверхностям этот способ</p>				
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата
БР – 15.03.06 ПЗ					Лист 11

Перв. примен.	<p>уступает колесному в экономичности, скорости передвижения и простоте управления.</p> <div data-bbox="687 226 1091 763" data-label="Image"> </div> <p>Рисунок 1.4 – Шагающий робот военного назначения фирмы BostonDynamic</p> <p><i>Другие способы передвижения.</i> Наряду с освоением способа передвижения шаганием ведутся научно-исследовательские работы по техническому освоению другого способа наземного передвижения – ползания. Как и шагание, этот способ обладает уникальной универсальностью и проходимостью, включая возможность передвижения в воде и под землей. Трудности освоения этого способа передвижения аналогичны шаганию и вообще всем способам передвижения живых организмов и заключаются в сложности кинематики и алгоритмов управления.</p> <p>Водные системы передвижения роботов основаны на традиционных средствах водного транспорта. Новым направлением в создании систем передвижения роботов в воде является техническое освоение способов плавания живых организмов с помощью плавников и путем волнообразного движения всего тела. К достоинствам таких средств плавания относятся их экологическая чистота, бесшумность и способность осуществлять позиционирование в заданной точке в условиях различных возмущающих действий со стороны внешней среды (течение, волнение и т.п.).</p> <p>Воздушные системы передвижения, как и водные, развиваются по двум направлениям: во-первых, используются давно освоенные в авиации способы полета, а, во-вторых, ведутся исследования по освоению машущих способов полета, известных в живой природе.</p> <p>Космические системы передвижения разделяются на систему для свободно летающих роботов, для роботов, обслуживающих космические аппараты (снаружи и внутри), и для напланетных роботов.</p>				
Справ. №					
Инв. № подл.	Подпись и Дата				
	Инв. № дубл.				
	Взам. инв. №				
	Подпись и Дата				
<div>Изм</div> <div>Лист</div> <div>№ докум.</div> <div>Подпис</div> <div>Дата</div>	<div>БР – 15.03.06 ПЗ</div>				<div>Лист</div> <div>12</div>

1.2 Классификация кинематических моделей колёсных мобильных платформ

Колесные мобильные платформы (КМП) составляют класс механических систем, характеризуемых кинематическими связями, которые не являются интегрируемыми и, следовательно, не могут быть исключены из уравнений движения модели. В результате стандартные алгоритмы планирования и управления движением, развитые для роботов-манипуляторов без связей (т.е. с голономными связями, которые учитываются сразу при построении функции Лагранжа) не применимы к таким системам. Это обстоятельство было отмечено недавно в обширной литературе, посвященной построению планирования и управления движением КМП, в особенности специфических упрощенных кинематических моделей «робопоезда» и «робокара». Однако коммерческие КМП, имеющиеся в продаже обладают существенно более сложной конструкцией, чем простейшие модели, обычно рассматриваемые в научной литературе. Например, для трехколесных или четырехколесных коммерческих мобильных роботов, со всеми поворотными и приводными колесами, существенным является даже вопрос, предшествующий исследованиям по управляемости,— вопрос о построении математической модели такого робота.

В [19] рассматривается несколько типов математических моделей колесных роботов. Рассмотрим из [19] пять моделей. При этом мы ограничимся рассмотрением лишь трехколесных мобильных роботов.

Робот с омниколёсами, расположенными в вершинах корпуса. Омнимобильный робот с шведскими колёсами. Рассматриваемый робот (рисунок 1.5) имеет три омниколеса, расположенных в вершинах корпуса, имеющего форму равностороннего треугольника.

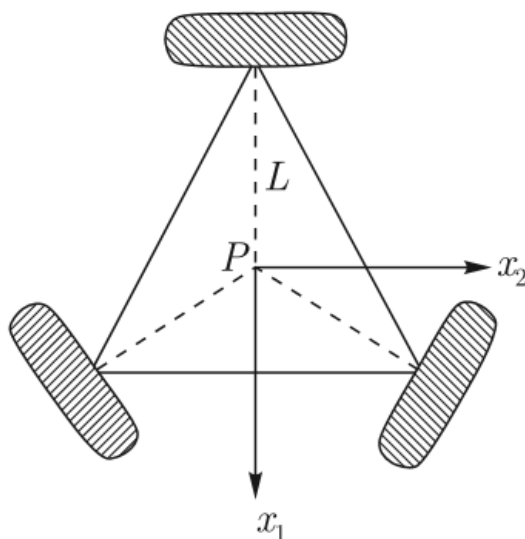
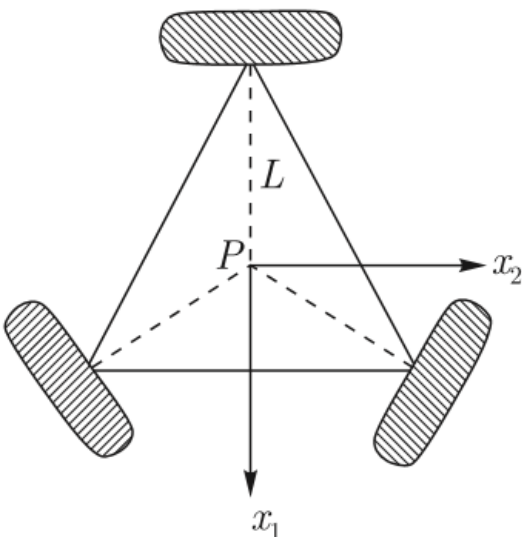
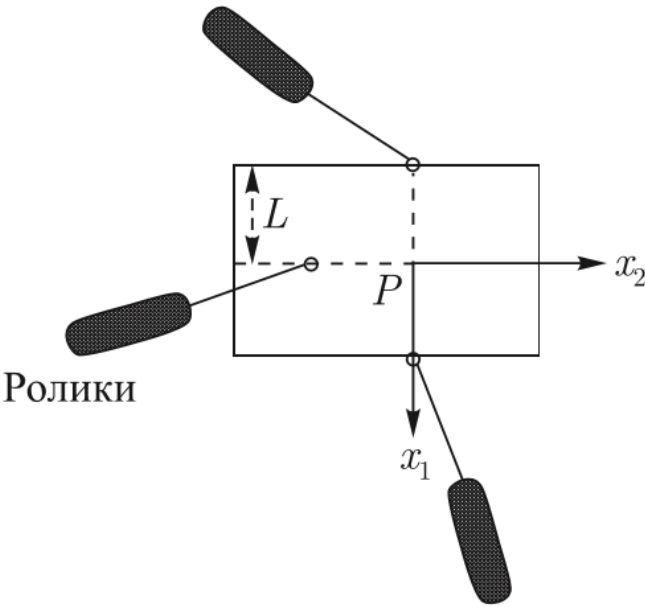


Рисунок 1.5 – Робот с омниколёсами, расположенными в вершинах корпуса

Перв. примен.	1.2 Классификация кинематических моделей колёсных мобильных платформ				
	<p>Колесные мобильные платформы (КМП) составляют класс механических систем, характеризующихся кинематическими связями, которые не являются интегрируемыми и, следовательно, не могут быть исключены из уравнений движения модели. В результате стандартные алгоритмы планирования и управления движением, развитые для роботов-манипуляторов без связей (т.е. с голономными связями, которые учитываются сразу при построении функции Лагранжа) не применимы к таким системам. Это обстоятельство было отмечено недавно в обширной литературе, посвященной построению планирования и управления движением КМП, в особенности специфических упрощенных кинематических моделей «робопоезда» и «робокара». Однако коммерческие КМП, имеющиеся в продаже обладают существенно более сложной конструкцией, чем простейшие модели, обычно рассматриваемые в научной литературе. Например, для трехколесных или четырехколесных коммерческих мобильных роботов, со всеми поворотными и приводными колесами, существенным является даже вопрос, предшествующий исследованиям по управляемости,— вопрос о построении математической модели такого робота.</p> <p>В [19] рассматривается несколько типов математических моделей колесных роботов. Рассмотрим из [19] пять моделей. При этом мы ограничимся рассмотрением лишь трехколесных мобильных роботов.</p> <p><i>Робот с омниколёсами, расположенными в вершинах корпуса.</i> Омнимобильный робот с шведскими колёсами. Рассматриваемый робот (рисунок 1.5) имеет три омниколеса, расположенных в вершинах корпуса, имеющего форму равностороннего треугольника.</p>				
Справ. №					
Подпись и дата	Рисунок 1.5 – Робот с омниколёсами, расположенными в вершинах корпуса				
Инов. № подл.					
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата
БР – 15.03.06 ПЗ					Лист 13

Перв. примен.	Связи, наложенные на систему, имеют вид:													
	$J_1(\beta_c, \beta_{oc})R(\theta)\dot{\xi} + J_2\dot{\varphi} = 0. \quad (1.1)$													
Справ. №	<p>где ξ - позиционные координаты необходимые для описания положения корпуса робота в плоскости движения;</p> <p>β_c - углы ориентации центрально ориентируемых колёс;</p> <p>β_{oc} - углы ориентации нецентрально ориентируемых колёс;</p> <p>φ - вращательные координаты для описания вращения колёс относительно соответствующих им горизонтальных осей вращения.</p>													
	<p>При этом J_1 и J_2 из (1.1) равны:</p>													
	$J_1 = [J_{1sw}] = \begin{bmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & L \\ 0 & -1 & L \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & L \end{bmatrix}, \quad (1.2)$													
	$J_2 = diag(r). \quad (1.3)$													
Подпись и Дата	<p>Омнимобильный робот с нецентрально ориентируемыми колесами. Этот робот имеет три традиционных нецентрально ориентируемых колеса, как показано на рисунке 1.6.</p>													
														
Инв. № подл.	<p>Рисунок 1.6 – Омнимобильный робот в тремя нецентрально ориентируемыми колёсами</p>													
<table border="1"> <tr> <td>Изм</td><td>Лист</td><td>№ докум.</td><td>Подпис</td><td>Дата</td></tr> <tr> <td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>				Изм	Лист	№ докум.	Подпис	Дата						<div>БР – 15.03.06 ПЗ</div> <div>Лист 14</div>
Изм	Лист	№ докум.	Подпис	Дата										

Связи имеют вид (1.1) и (1.4):

$$C_1(\beta_c, \beta_{oc})R(\theta)\dot{\xi} + C_2\dot{\phi} = 0, \quad (1.4)$$

где:

$$J_1 = [J_{loc}(\beta_{oc})] = \begin{bmatrix} -\sin(\beta_{oc1}) & \cos(\beta_{oc1}) & L\cos(\beta_{oc1}) \\ \sin(\beta_{oc2}) & -\cos(\beta_{oc2}) & L\cos(\beta_{oc2}) \\ \cos(\beta_{oc3}) & \sin(\beta_{oc3}) & L\cos(\beta_{oc3}) \end{bmatrix}, \quad (1.5)$$

$$J_2 = \text{diag}(r). \quad (1.6)$$

$$C_1 = [C_{loc}(\beta_{oc})] = \begin{bmatrix} \cos(\beta_{oc1}) & \sin(\beta_{oc1}) & d + L\sin(\beta_{oc1}) \\ -\cos(\beta_{oc2}) & -\sin(\beta_{oc2}) & d + L\sin(\beta_{oc2}) \\ \sin(\beta_{oc3}) & -\cos(\beta_{oc3}) & d + L\sin(\beta_{oc3}) \end{bmatrix}, \quad (1.7)$$

$$C_2 = |C_{2oc}| = \text{diag}(d). \quad (1.8)$$

Двухколёсный робот с неуправляемым третьим колесом. Данный робот имеет два традиционно фиксированных колеса, расположенных на одной оси, и одним традиционным нецентрально ориентируемым колесом (рисунок 1.7).

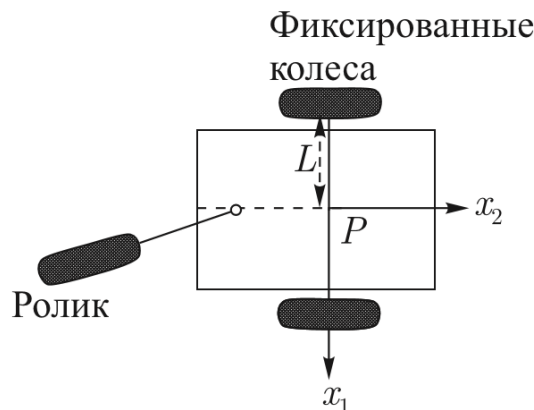


Рисунок 1.7 - Двухколёсный робот с неуправляемым третьим колесом

Связи имеют вид (1.1) и (1.4) где:

$$J_1 = \begin{bmatrix} J_{1f} \\ J_{loc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & L \\ 0 & -1 & L \\ \cos(\beta_{oc3}) & \sin(\beta_{oc3}) & L\cos(\beta_{oc3}) \end{bmatrix}, \quad (1.9)$$

$$J_2 = \text{diag}(r). \quad (1.10)$$

$$C_1 = \begin{bmatrix} C_{1f} \\ C_{1oc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ \sin(\beta_{oc3}) & -\cos(\beta_{oc3}) & d + L\sin(\beta_{oc3}) \end{bmatrix}, \quad (1.11)$$

$$C_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ d \end{bmatrix}. \quad (1.12)$$

Робот с двумя неуправляемыми колесами. Представляет собой робота с одним традиционно центрально ориентируемым колесом и двумя нецентрально ориентируемыми колёсами (рисунок 1.8).

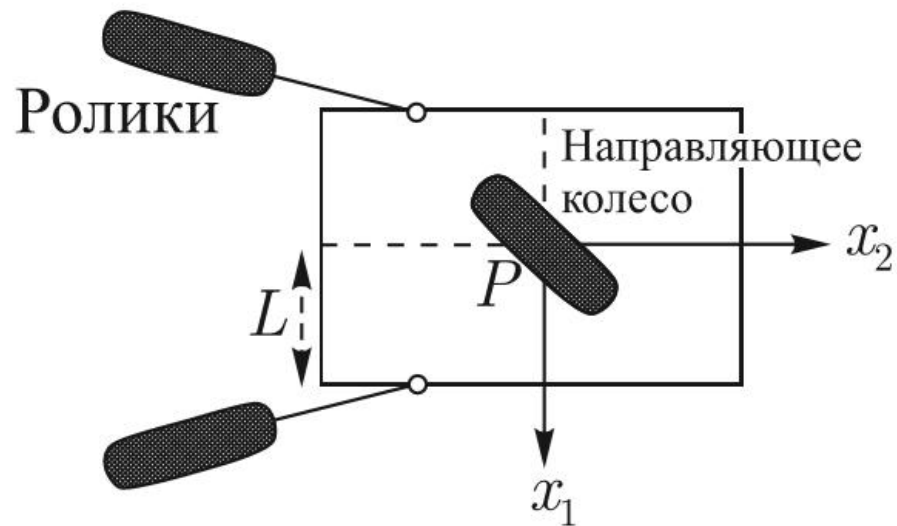


Рисунок 1.8 - Робот с двумя неуправляемыми колесами

Уравнения связи имеют вид (1.1) и (1.4) где:

$$J_1 = \begin{bmatrix} J_{1c}(\beta_{c1}) \\ J_{1oc}(\beta_{oc2}, \beta_{oc3}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin(\beta_{c1}) & \cos(\beta_{c1}) & l \cos(\beta_{c1}) \\ \sin(\beta_{oc2} + \frac{\pi}{4}) & -\cos(\beta_{oc2} + \frac{\pi}{4}) & l \cos(\beta_{oc2}) \\ -\sin(\beta_{oc3} - \frac{\pi}{4}) & \sin(\beta_{oc3} - \frac{\pi}{4}) & l \cos(\beta_{oc3}) \end{bmatrix}, \quad (1.13)$$

$$J_2 = \text{diag}(r). \quad (1.14)$$

$$C_1 = \begin{bmatrix} C_{1c}(\beta_{c1}) \\ C_{1oc}(\beta_{oc2}, \beta_{oc3}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\beta_{c1}) & \sin(\beta_{c1}) & l \sin(\beta_{c1}) \\ -\cos(\beta_{oc2} + \frac{\pi}{4}) & -\sin(\beta_{oc2} + \frac{\pi}{4}) & d + l \sin(\beta_{oc2}) \\ \cos(\beta_{oc3} - \frac{\pi}{4}) & \sin(\beta_{oc3} - \frac{\pi}{4}) & d + l \sin(\beta_{oc3}) \end{bmatrix}, \quad (1.15)$$

$$C_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ \text{diag}(d) \end{bmatrix}. \quad (1.16)$$

Модель типа трёхколесного детского велосипеда. Данная модель является роботом с двумя традиционно фиксированными колёсами на одной оси и одним традиционно центрально ориентируемым колесом (рисунок 1.9).

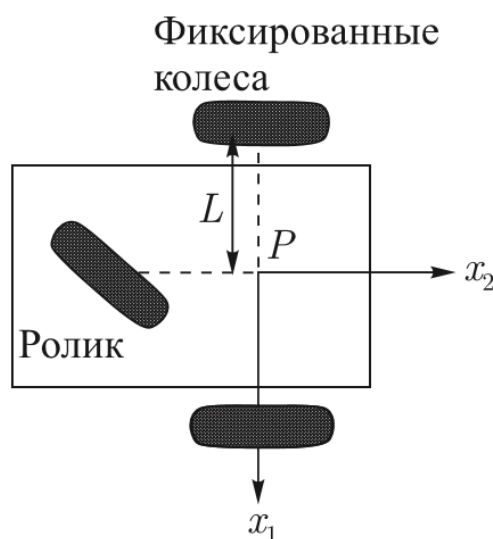


Рисунок 1.8 - Модель типа трёхколесного детского велосипеда

Уравнения связи имеют вид (1.1) и (1.4) где:

$$J_1 = \begin{bmatrix} J_{1f} \\ J_{1c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & L \\ 0 & -1 & L \\ \cos(\beta_{c3}) & \sin(\beta_{c3}) & L \cos(\beta_{c3}) \end{bmatrix}, \quad (1.17)$$

$$J_2 = \text{diag}(r). \quad (1.18)$$

$$C_1 = \begin{bmatrix} C_{1f} \\ C_{1c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ \sin(\beta_{c3}) & -\cos(\beta_{c3}) & d + L \sin(\beta_{c3}) \end{bmatrix}, \quad (1.19)$$

$$C_2 = 0. \quad (1.20)$$

Перв. примен.	<h3>1.3 Анализ систем управления мобильной платформой</h3> <p>Система управления, являясь основной составной частью информационно-управляющей системы, обеспечивает выработку закона управления исполнительными устройствами робота и формирование управляющих сигналов.</p> <p>Многообразие способов и систем управления позволяет группировать их по различным признакам (вид траектории, показатели качества управления, элементная база и т.д.).</p> <p>К наиболее общим признакам относится способ управления, определяемый в зависимости от степени участия оператора в управлении роботом. По этому признаку роботы делятся на две большие группы:</p> <ul style="list-style-type: none">– автоматизированные (биотехнические), оператор находится в контуре управления;– автоматические, оператор находится вне контура управления, его взаимодействие с роботом заключается только в процессе обучения. <p>Другим важным признаком, который позволяет разделить выбранные выше группы, является метод управления.</p> <p>Кратко опишем виды роботов с биотехническими системами управления (Рисунок 1.9):</p> <ol style="list-style-type: none">1. Мускульные системы управления. Здесь оператор управляет роботом только с помощью собственной мускульной энергии.2. Сбалансированные промышленные роботы содержат в кинематической схеме манипулятора систему противовесов, уравнивающих рабочий орган для экономии мускульной энергии оператора.3. Экзоскелеты многозвенные механизмы, звенья которых соединены с оператором (скелетом). В аналогах человеческих суставов расположены силовые приводы, движения оператора формируют лишь задания на движения частей экзоскелета.4. Роботы с дистанционной системой управления, так же, как и экзоскелеты снабжены усилителями мощности, но управления ими происходит на расстоянии. Они делятся на следующие виды:<ul style="list-style-type: none">– командные системы, получают управление на приводы каждого звена или колеса от пульта ручного управления;– в копирующих системах оператор дистанционно управляет роботом с помощью задающего устройства, которое кинематически подобно манипулятору или другому управляющему устройству;– полуавтоматические, оператор воздействует на специализированную управляющую рукоятку, оснащённую датчиками, сигналы с которых преобразуются в команды управления исполнительными устройствами.5. Интерактивные системы сочетают элементы биотехнического и автоматического управления, имеют устройства памяти для автоматического выполнения операций. Они делятся на виды:<ul style="list-style-type: none">– интерактивные автоматизированные системы, здесь имеет место чередование ручных и автоматических режимов;					
	Справ. №					
Подпись и Дата						
Инв. № дубл.						
Взам. инв. №						
Подпись и Дата						
Инв. № подл.						
Изм	Лист	№ докум.	Подпис	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
						18

- супервизорные, части заданного цикла операций выполняются автоматически, а переход от одного этапа к другому определяет оператор;
- в диалоговых системах общение оператора с роботом ведётся на языке, близком к естественному языку.
-

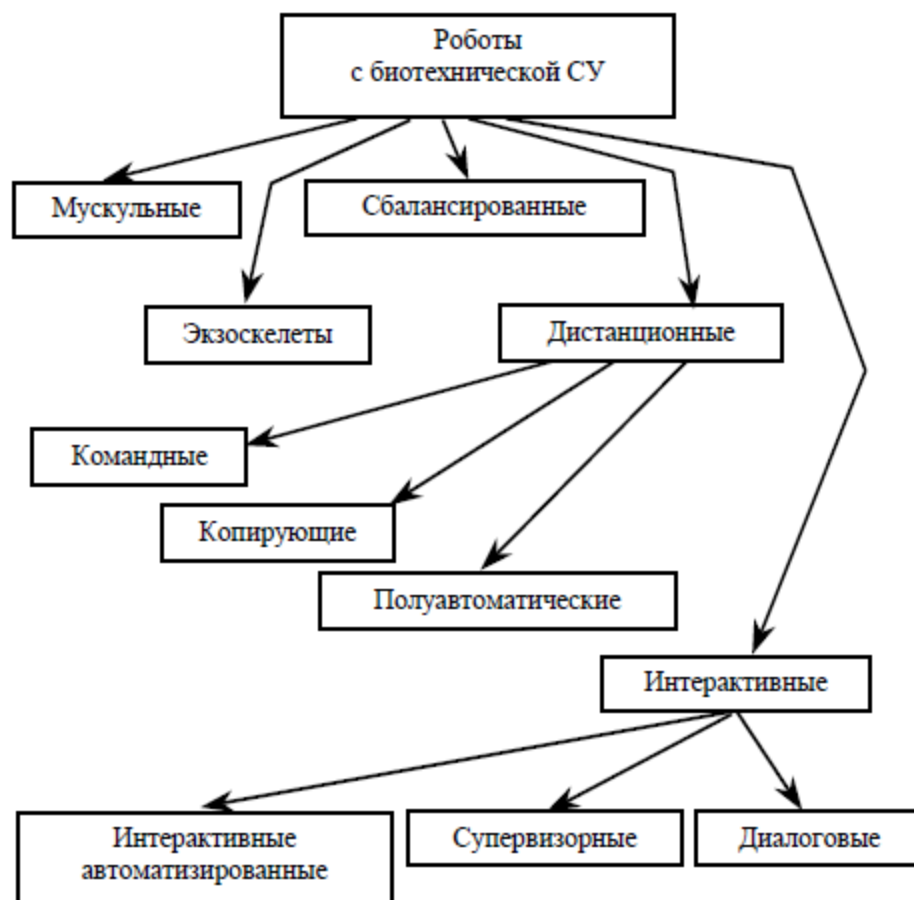


Рисунок 1.9 – Классификация роботов с биотехническими системами управления

Проведём обзор характерных признаков основных видов систем автоматического управления роботами (рисунок 1.10):

1. Программное управление характеризуется движением робота по заранее считанной программе, в работе отсутствуют датчики очувствления, не учитываются изменения окружающей среды, для управления используют только датчики положения исполнительных устройств. Системы программного управления делятся на следующие виды:

- цикловые движения исполнительных механизмов происходят только в крайние положения, задаваемые механическими упорами или конечными выключателями;
- позиционные движения устройств в заданную рабочую точку происходит без учёта траектории движения;
- контурное движения происходит по заданной в пространстве траектории.

Перв. примен.	<p>2. Адаптивное управление.</p> <p>Характерные признаки таких систем:</p> <ul style="list-style-type: none">– движение организуется по корректируемым программам;– перестройка программ происходит в ответ на изменение внешних условий;– роботы имеют датчики очувствления (датчики прикосновений – тактильные, силомоментные датчики, техническое зрение). <p>3. Интеллектное управление. Характерные признаки:</p> <ul style="list-style-type: none">– задаются только цель и правила поведения;– система сама формирует модель внешней среды;– робот имеет датчики очувствления для наблюдения за изменениями внешней среды.				
Справ. №	<div><div>Роботы с автоматической СУ</div><div><div>Программные</div><div>Адаптивные</div><div>Интеллектные</div></div><div><div>Цикловые</div><div>Позиционные</div><div>Контурные</div></div></div> <p>Рисунок 1.10 – Классификация САУ роботами</p> <p>Классификация по количеству совместно управляемых роботов относится к тем случаям, когда роботы функционируют группами. Это относится как к промышленным роботам, так и к мобильным. Причём функционирование группами происходит либо в рамках одного процесса, либо роботы выполняют определённые части этого процесса. В таких случаях возможны различные варианты построения системы управления роботами (Рисунок 1.11).</p> <div><div>роботы</div><div><div>Индивидуальное управление</div><div>Групповое управление</div></div><div><div>Централизованное</div><div>Децентрализованное</div><div>Комбинированное</div></div></div> <p>Рисунок 1.11 – Классификация по количеству совместно управляемых роботов</p>				
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		20

Перв. примен.	<h3>1.4 Постановка задачи</h3> <p>Основная цель работы состоит в разработке мобильной платформы (далее МП) основные характеристики которой приведены в таблице 1.2.</p> <p>Таблица 1.2 – Основные параметры мобильной платформы</p> <table border="1"> <tr> <th colspan="2">Параметры МП</th> <th>Значение</th> </tr> <tr> <td rowspan="2">Габаритные размеры</td> <td>Длина</td> <td>Не более 0.4 м</td> </tr> <tr> <td>Ширина</td> <td>Не более 0.5 м</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Масса</td> <td>Не более 20 кг</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Грузоподъемность</td> <td>Не менее 50 кг</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Тип привода</td> <td>Электромеханический дифференциальный</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Максимальная скорость</td> <td>90 м/мин</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Система управления</td> <td>Контурная</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Обратная связь</td> <td>Через ПК</td> </tr> </table>					Параметры МП		Значение	Габаритные размеры	Длина	Не более 0.4 м	Ширина	Не более 0.5 м	Масса		Не более 20 кг	Грузоподъемность		Не менее 50 кг	Тип привода		Электромеханический дифференциальный	Максимальная скорость		90 м/мин	Система управления		Контурная	Обратная связь		Через ПК
	Параметры МП		Значение																												
Габаритные размеры	Длина	Не более 0.4 м																													
	Ширина	Не более 0.5 м																													
Масса		Не более 20 кг																													
Грузоподъемность		Не менее 50 кг																													
Тип привода		Электромеханический дифференциальный																													
Максимальная скорость		90 м/мин																													
Система управления		Контурная																													
Обратная связь		Через ПК																													
Справ. №	<p>МП должна быть сконструирована таким образом, чтобы имелась возможность установки дополнительного оборудования, таких, как</p>																														
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<div> <div>Изм</div> <div>Лист</div> <div>№ докум.</div> <div>Подпис</div> <div>Дата</div> </div>																										
<div>БР – 15.03.06 ПЗ</div>					<div>Лист</div> <div>21</div>																										

Перв. примен.	<h2>2 Проектирование конструкции мобильной платформы</h2> <p>В ходе работ по разработке мобильной платформы были выделены следующие её конструктивные компоненты:</p> <ul style="list-style-type: none"> • несущая часть (рама); • передняя ходовая часть; • задняя ходовая часть; • редуктор; • крепления для двигателя; • крышки для шкивов и натяжители ремня. <p>Такое разбиение на компоненты позволило более правильно сконструировать каждый из них. Так же это позволило избежать перегрузки деталями, которые в итоге не несли бы никакой полезной функции</p> <h3>2.1 Создание 3D-модели платформы</h3> <p>После создания кинематической схемы платформы, необходимо было создать трёхмерную модель будущего робота. Для этих целей был выбран пакет SolidWorks.</p> <p>В SolidWorks используется принцип трехмерного твердотельного и поверхностного параметрического проектирования, что позволяет конструктору создавать объемные детали и компоновать сборки в виде трехмерных электронных моделей, по которым создаются двухмерные чертежи и спецификации в соответствии с требованиями ЕСКД.</p> <p>Трёхмерное моделирование изделий дает массу преимуществ перед традиционным двумерным проектированием, например, исключение ошибок собираемости изделия еще на этапе проектирования, создание по электронной модели детали управляющей программы для обработки на станке с ЧПУ. С помощью программы SolidWorks можно увидеть будущее изделие со всех сторон в объеме и придать ему реалистичное отображение в соответствии с выбранным материалом для предварительной оценки дизайна.</p> <p><i>Рама робота.</i> Первым этапом мы создаём несущую часть робота. Это позволит примерно определить габариты и будущую компоновку остальных механических и электрических частей робота.</p> <p>При этом рама состоит из нескольких компонентов:</p> <ul style="list-style-type: none"> • передняя и задняя часть рамы; • левый и правый борт; • центральные вставки; • уголки под переднюю ось и крышки; • уголки для задней оси и редуктора, а также крышки; • крепления для двигателей; • пластина для натяжителей. <p>Полученная модель рамы изображена на рисунке 2.1.</p>																
	Справ. №																
Подпись и дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.												
<table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дата</td> <td rowspan="2">БР – 15.03.06 ПЗ</td> <td rowspan="2">Лист 7</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>						Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ	Лист 7					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ	Лист 7											

Перв. примен.	
Справ. №	

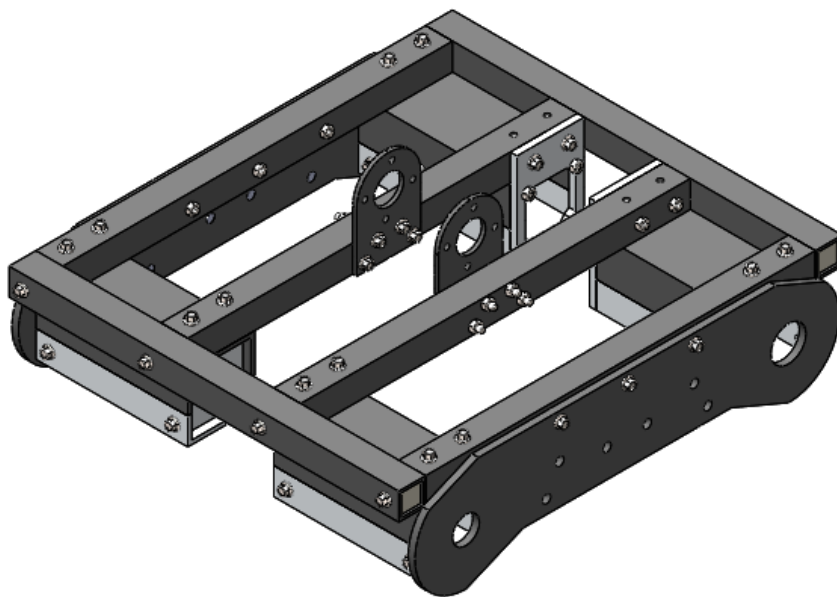


Рисунок 2.1 – Модель рамы мобильной платформы

Передняя ходовая часть. Моделирование передней оси (рисунок 2.1) происходило с учётом того, что она является конечным элементом конструкции, т.е. она уже не передаёт момент на другие элементы. В связи с этим проектировка не требовала значительных расчётов на прочность.

Подпись и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.
Изм	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

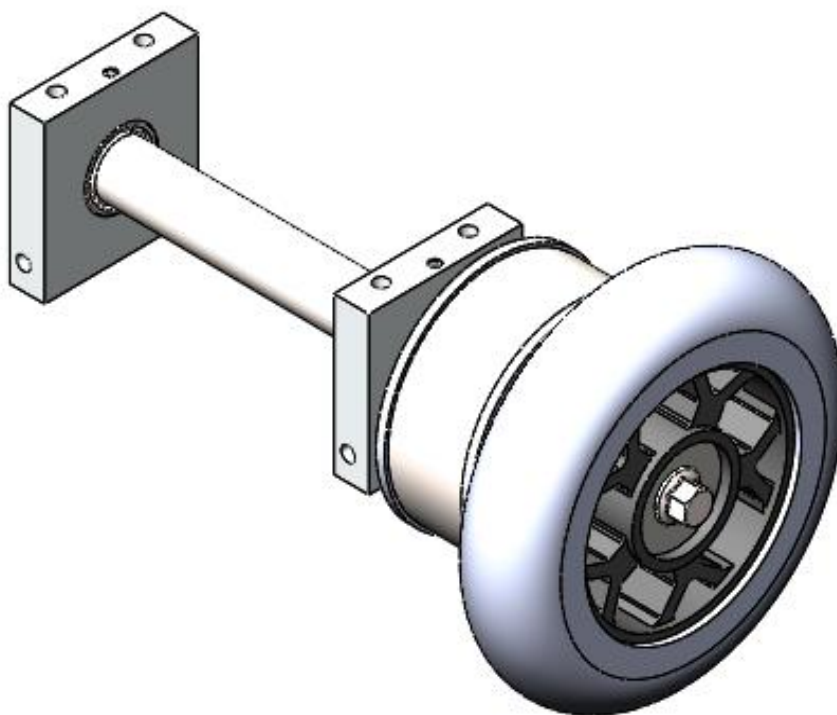
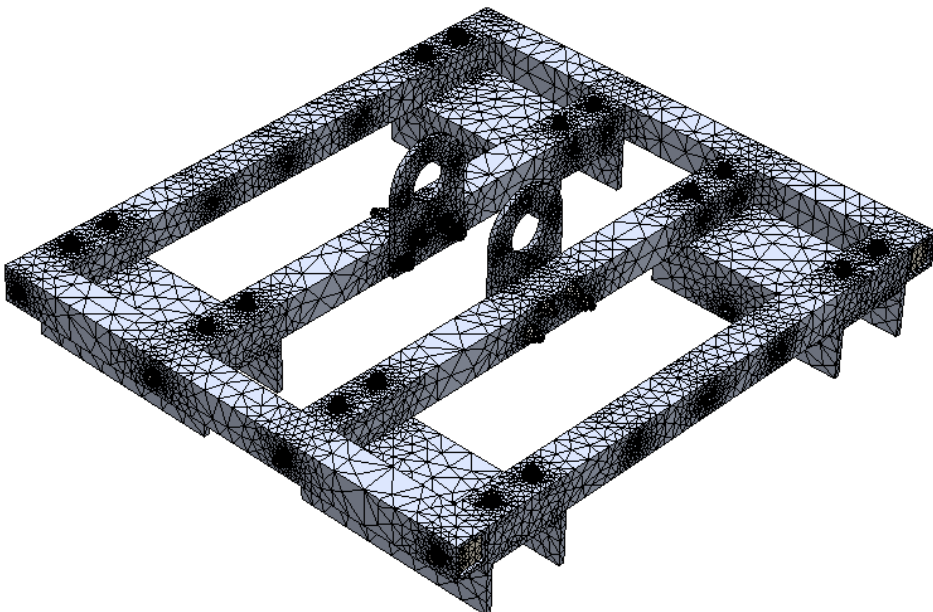
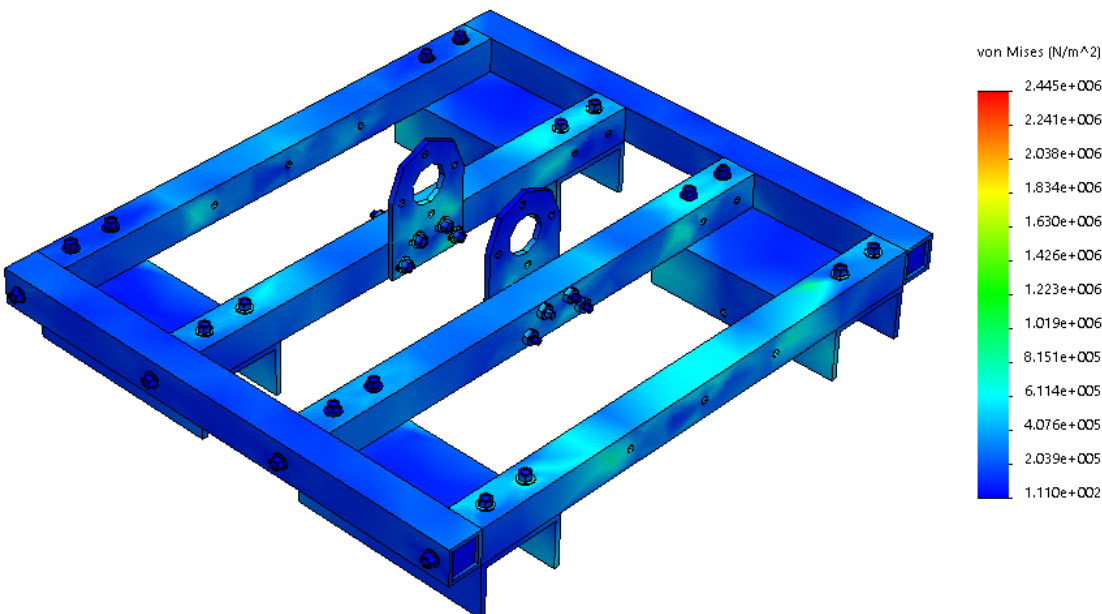


Рисунок 2.2 – Передняя ходовая часть

Перв. примен.	<p><i>Задняя ходовая часть и редуктор.</i> В связи с тем, что редуктор и задняя ходовая часть находятся на одной оси, было принято решение соединить их в единый конструкторский блок, хотя рассматривать их следует по отдельности. Это сделано для того, чтобы облегчить создание модели. Поэтому модель задней ходовой части включает в себя и вал и редуктор (рисунок 2.3).</p> <div data-bbox="539 383 1299 963" data-label="Image"> </div> <p>Рисунок 2.3 – Задняя ходовая часть</p>				
Справ. №					
<div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ док.</div> <div>Подпись</div> <div>Дата</div>	<div data-bbox="284 1115 1412 1160" data-label="Section-Header"> <h2>2.2 Прочностной расчёт основных элементов робота в SolidWorks</h2> </div> <div data-bbox="188 1182 1501 1518" data-label="Text"> <p>Возможность анализа модели как детали в рабочих условиях — одно из главных преимуществ инструмента проектирования SolidWorks. Знание основ пакета Simulation может помочь инженеру спрогнозировать поведение его детали при реальных нагрузках, а главное, поможет снижать массу изделия без потери прочности. При этом SolidWorks Simulation при моделировании использует метод конечных элементов – метод, позволяющий максимально точно проверить деталь на прочность при различных условиях, нагрузках и моментах.</p> <p>Метод конечных элементов (МКЭ) — это численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникающих при решении задач прикладной физики. Метод широко используется для решения задач механики деформируемого твёрдого тела, теплообмена, гидродинамики и электродинамики.</p> <p>Суть метода следует из его названия. Область, в которой ищется решение дифференциальных уравнений, разбивается на конечное количество подобластей (элементов). В каждом из элементов произвольно выбирается вид аппроксимирующей функции. В простейшем случае это полином первой степени. Вне своего элемента аппроксимирующая функция равна нулю. Значения функций на границах элементов (в узлах) являются решением задачи и</p> </div>				
	<div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ док.</div> <div>Подпись</div> <div>Дата</div>				
	<div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ док.</div> <div>Подпись</div> <div>Дата</div>				
	<div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ док.</div> <div>Подпись</div> <div>Дата</div>				
Изм.	<div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ док.</div> <div>Подпись</div> <div>Дата</div>				
Лист	<div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ док.</div> <div>Подпись</div> <div>Дата</div>				
№ док.	<div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ док.</div> <div>Подпись</div> <div>Дата</div>				
Подпись	<div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ док.</div> <div>Подпись</div> <div>Дата</div>				
Дата	<div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ док.</div> <div>Подпись</div> <div>Дата</div>				

Перв. примен.															
Справ. №															
Подпись и Дата															
Инв. № дубл.															
Взам. инв. №															
Подпись и Дата															
Инв. № подл.															
<p>заранее неизвестны. Коэффициенты аппроксимирующих функций обычно ищутся из условия равенства значения соседних функций на границах между элементами (в узлах). Затем эти коэффициенты выражаются через значения функций в узлах элементов. Составляется система линейных алгебраических уравнений. Количество уравнений равно количеству неизвестных значений в узлах, на которых ищется решение исходной системы, прямо пропорционально количеству элементов и ограничивается только возможностями ЭВМ. Так как каждый из элементов связан с ограниченным количеством соседних, система линейных алгебраических уравнений имеет разрежённый вид, что существенно упрощает её решение.</p> <p>Если говорить в матричных терминах, то собираются так называемые матрицы жёсткости (или матрица Дирихле) и масс. Далее на эти матрицы накладываются граничные условия (например, при условиях Неймана в матрицах не меняется ничего, а при условиях Дирихле из матриц вычёркиваются строки и столбцы, соответствующие граничным узлам, так как в силу краевых условий значение соответствующих компонент решения известно). Затем собирается система линейных уравнений и решается одним из известных методов.</p> <p>С точки зрения вычислительной математики, идея метода конечных элементов заключается в том, что минимизация функционала вариационной задачи осуществляется на совокупности функций, каждая из которых определена на своей подобласти, для численного анализа системы позволяет рассматривать его как одну из конкретных ветвей диакоптики — общего метода исследования систем путём их расчленения.</p> <p><i>Разбиение модели на конечные элементы.</i> В результате разбиения мобильной платформы на конечные элементы, была получена модели, изображённая на рисунке 2.4.</p>															
															
<p>Рисунок 2.4 – Разбиение на треугольники всей модели</p>															
<table border="1"> <tr> <td>Изм</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дата</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>					Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						<div>БР – 15.03.06 ПЗ</div> <div>Лист</div> <div>10</div>
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата											

Перв. примен.	<h3>2.2.1 Расчёт несущей конструкции</h3> <p>В связи с тем, что модель состоит из большого числа элементов, моделирование потребовало значительное количество вычислительных ресурсов. Поэтому было принято решение моделировать только саму раму, т.к. она алюминиевая и на ней сосредотачивается практически вся нагрузка. Результат разбиения рамы на конечные элементы изображён на рисунке 2.5.</p> 				
	<p>Рисунок 2.5 – Разбиение на конечные элементы рамы робота</p>				
Справ. №	<p><i>Результаты моделирования.</i> Для моделирования мы использовали статический анализ. К модели была приложена нагрузка в 1000Н. Результаты моделирования изображены на рисунках 2.6 – 2.7.</p> 				
	<p>Рисунок 2.6 – Эпюра напряжений</p>				
Подпись и дата	<div>БР – 15.03.06 ПЗ</div>				
	Лист 11				

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата
------	------	----------	--------	------

Изм	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

Перв. примен.	
Справ. №	

Как видно эпюры, изображённой на рисунке 2.6, модель выдерживает приложенную к ней нагрузку в 1000Н. Максимальное значение напряжения 276кПа, при допустимом напряжении алюминия 35Мпа. Отсюда делаем вывод, что значения напряжений не превышают критических. Соответственно данная конструкция выдержит вес в 50 кг.

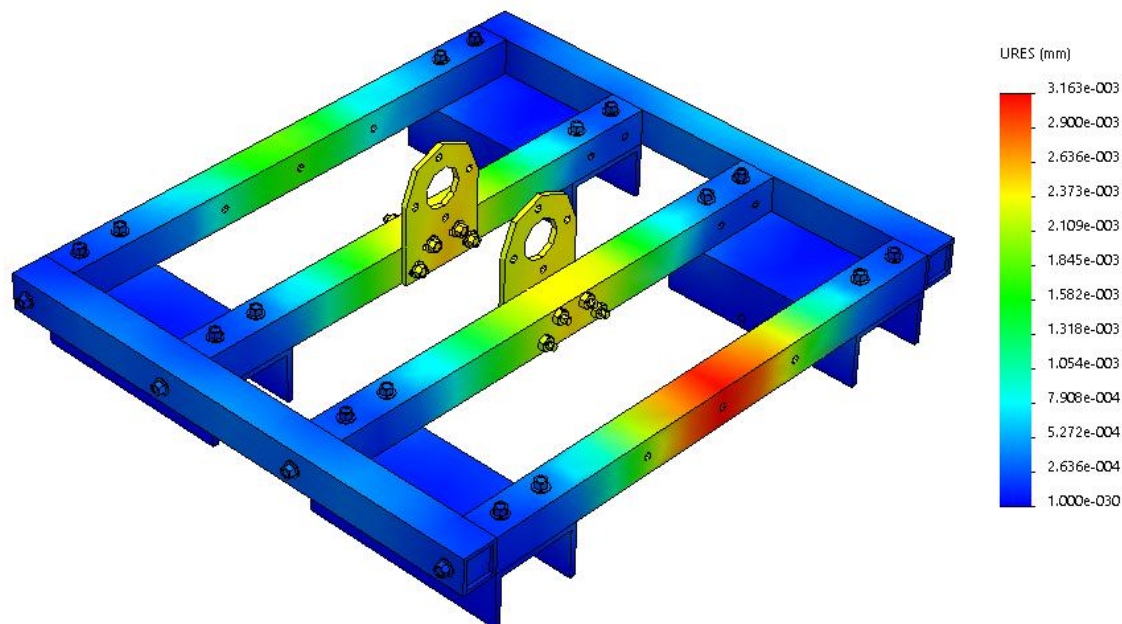


Рисунок 2.7 – Эпюра перемещений

Эпюра перемещений (рисунок 2.7) показывает, что максимальное смещение составляет $3.163 \cdot 10^{-3}$ мм, причём это смещение приходится на центр рамы, где отсутствуют элементы, критически влияющие на поведение МП.

2.2.2 Расчёт заднего вала

Задний вал МП является конструктивным элементом, который передаёт момент с редуктора на колёса, поэтому он должен иметь высокую прочность. Чтобы вал удовлетворял поставленной задаче, он был изготовлен из стали 45.

Модель вала, разбитая на конечные элементы, изображена на рисунке 2.8.

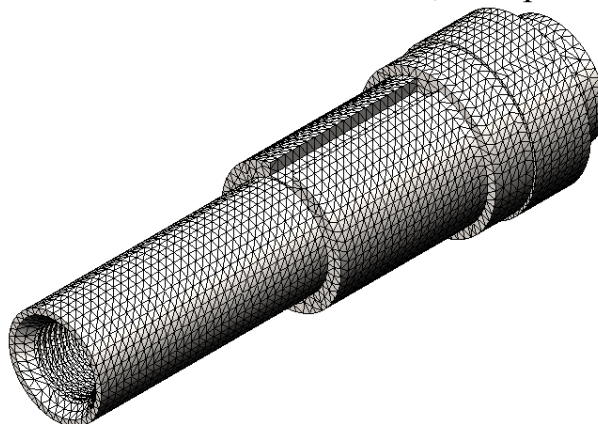


Рисунок 2.8 – Задний вал

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03.06 ПЗ

Лист

12

С учётом того, что момент, создаваемый двигателем равен $0.15H \cdot м$, а передаточное число редуктора равно 9.09, то при моделировании мы накладываем на вал момент с запасом, равный $3H \cdot м$. Результаты моделирования представлены на рисунках 2.9-2.10.

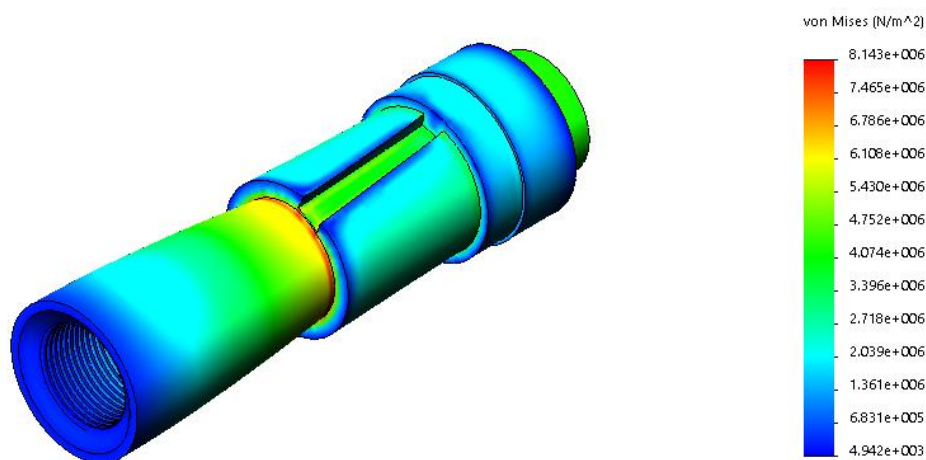


Рисунок 2.9 – Эпюра напряжений

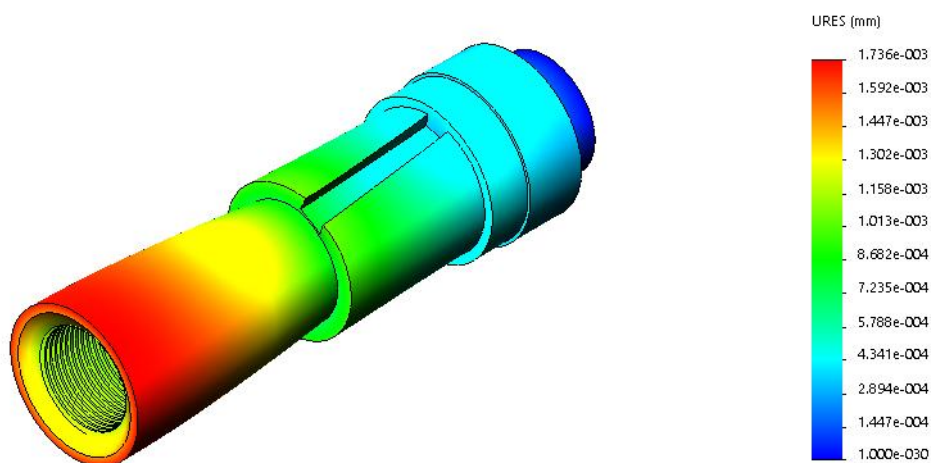


Рисунок 2.10 – Эпюра перемещений

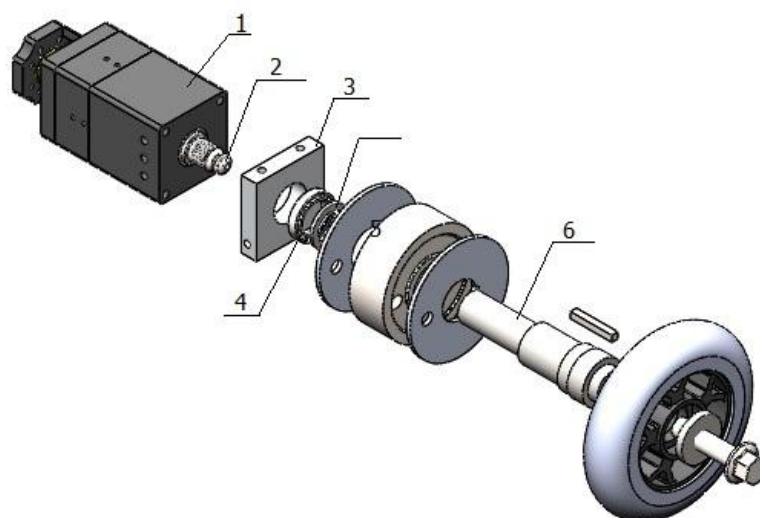
Рисунок 2.9 показывает, что максимальное напряжение на валу равно $8.14 МПа$, при допустимом напряжении стали $470 МПа$. Из этого можно сделать вывод, что вал обладает большим запасом прочности, что также подтверждает малое перемещение, равное $1.736 \cdot 10^{-3} мм$ (рисунок 2.10).

Перв. примен.	Справ. №	Подпись и Дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и Дата	Инв. № подл.						
							БР – 15.03.06 ПЗ					Лист
												13
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата								

Справ. №	2.3 Деталировка конструкции мобильной платформы														
	Рассматривая деталировку конструкции МП можно более подробно показать из каких элементов состоит платформа, а также понять взаимосвязь элементов конструкции МП. Рисунок 2.11 показывает из каких элементов состоит основная несущая конструкция.														
															
	Рисунок 2.11 – Вид рамы МП с разнесёнными частями														
Подпись и дата	<p>Передняя и задняя части рамы (1) соединяются с боковыми (2) и центральными (3) профилями с помощью капролоновых вставок (4), которые также придают конструкции большую прочность. К креплению для двигателя (5) с помощью винтов М4 притягивается корпус двигателя, и данная конструкция крепится на раме. Крепления для редуктора (6) удерживают редуктор, а также с помощью двухсторонних винтов стягивают его. Передние (7) и задние (9) уголки используются для фиксации передней и задней ходовых частей и во избежание попадания пыли и грязи закрываются крышками (8) и (10). Все элементы конструкции соединяются с собой с помощью винтов М4 (11).</p>														
	Инв. № дубл.	<p>Рисунок 2.12 показывает детальную конструкцию передней ходовой части. В держатели оси (1) вставляются подшипники (2), зажатые стопорными винтами (3) между которыми находится передняя ось (13). Такая конструкция не позволяет передней оси совершать движения в стороны. На подшипник (4) надевается пластина для натяжителей ремня. Что бы разделить подшипник от других вращающихся частей, используется шайба (5) имеющая особую форму. Второй основной частью передней оси является ось (6) на которую надеваются фиксаторы ремня (7), не позволяющие выскальзывать ремню и зубчатый шкив (8) на который передаётся момент через ремень с заднего вала. Шкив фиксируется на оси с помощью шпонки (9). Колесо (10) одевается на ось (6), а</p>													
		Взам. инв. №													
Подпись и дата															
	Инв. № подл.														
<div>БР – 15.03.06 ПЗ</div> <div>Лист 14</div>															
<table><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ докум.</td><td>Подпись</td><td>Дата</td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>						Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата											

This diagram shows an exploded view of a mechanical assembly. The components are numbered as follows: 1. A rectangular mounting plate with four holes. 2. A long shaft. 3. A second rectangular mounting plate, similar to 1. 4. A small cylindrical component. 5. A larger cylindrical component. 6. A small cylindrical component. 7. A large cylindrical component with a central hole. 8. A large cylindrical component with a central hole. 9. A small cylindrical component. 10. A large cylindrical component with a central hole. 11. A small cylindrical component. 12. A small cylindrical component. 13. A small cylindrical component.

На рисунке 2.13 изображена детализировка задней ходовой части. Отличием от передней ходовой части является то, что вал (6) состоит из одной части. Он закручивается на выходной вал редуктора (1) и в него вставляется винт (2) с обратной резьбой. Это сделано для того что бы при вращениях редуктора в разные стороны вал не выкручивался. Пластина (3) служит для соединения уголков рамы, к которым в свою очередь крепится редуктор. На подшипник (4) одевается пластина для натяжителей. Шайба (5) разделяет между собой подшипник натяжителя зубчатый шкив с фиксаторами ремня. Остальные элементы конструкции не отличаются от конструкции передней ходовой части.



Лист

Конструкция натяжителя ремня показана на рисунке 2.14. Каждый из натяжителей (3) имеет по два подшипника, посаженных на ось. Так же натяжители имеют паз, который позволяет перемещать их для натягивания ремня (4). Регулировка положения натяжителя происходит с помощью винтов (6), вкручиваемых в оси (5). Для более точного позиционирования, натяжители зажимаются между пластинами (1) и (2). Фиксируется конструкция с помощью винтов к раме МП через отверстия, имеющиеся в пластине (1). В пластине (2) имеются отверстия, в которых можно разместить сальники или пыльники во избежание загрязнения данной конструкции.

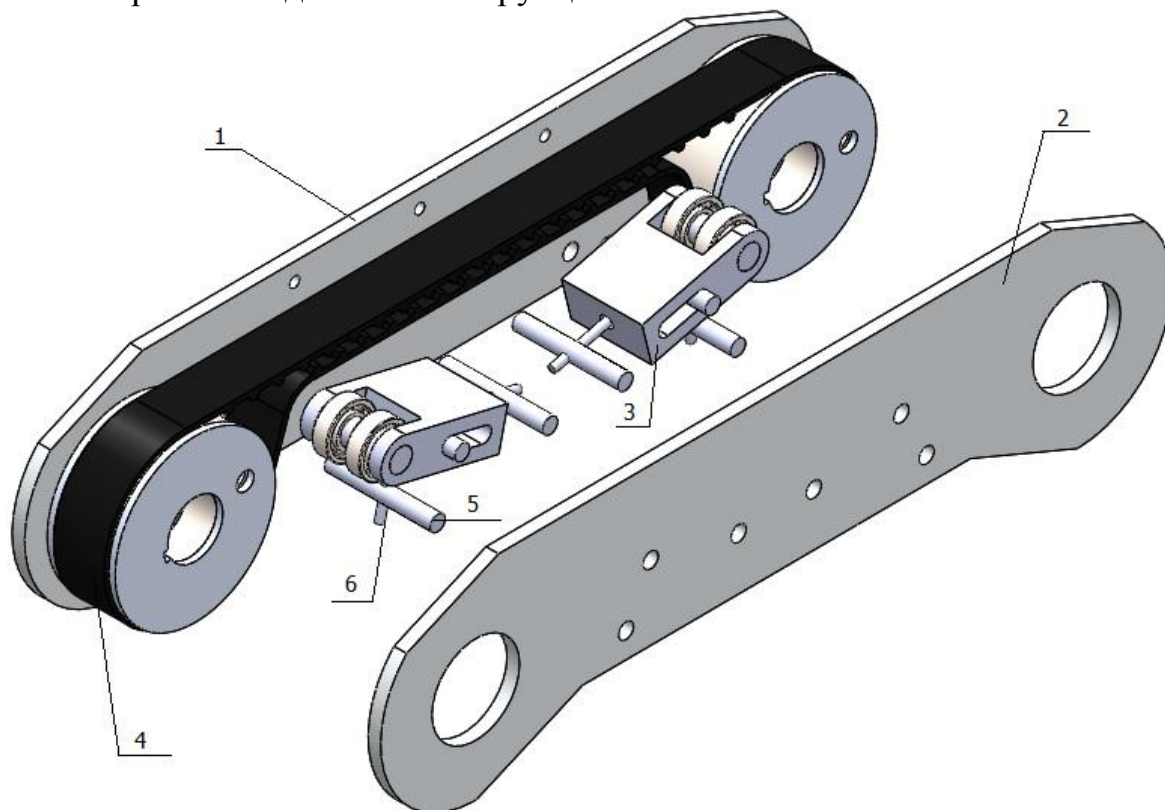


Рисунок 2.14 – Детализовка конструкции натяжителя

Перв. примен.	<h3>3 Выбор элементов электрической части мобильной платформы</h3> <p>Выбор электрических и электронных компонентов при разработке мобильной платформы – важный шаг, который в дальнейшем повлияет на возможности и ограничения в разработке системы управления. Набор элементов мобильного робота должен удовлетворять условиям задачи, но при этом не перегружать робота неиспользуемыми компонентами.</p> <h4>3.1 Выбор электродвигателя</h4> <p>Выбор электродвигателя определяет будущую динамику всей системы и должен подходить для условий текущей задачи.</p> <p>Для мобильной платформы был выбран двигатель постоянного тока М48х60/І со встроенным квадратурным энкодером (рисунок 3.1). Характеристики двигателя изображены на рисунке 3.2.</p>																																				
																																					
Справ. №	<p>Рисунок 3.1 – Двигатель М48х60/І</p> <p>Таблица 3.1 – Параметры электродвигателя М48х60/І</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Параметр</th> <th>Значение</th> </tr> <tr> <td>Номинальное напряжение</td> <td>24В</td> </tr> <tr> <td>Номинальный крутящий момент</td> <td>15Н · см</td> </tr> <tr> <td>Номинальная скорость</td> <td>3300об / мин</td> </tr> <tr> <td>Номинальный ток</td> <td>2.75А</td> </tr> <tr> <td>Скорость холостого хода</td> <td>3800об / мин</td> </tr> <tr> <td>Ток при холостом ходе</td> <td>0.2А</td> </tr> <tr> <td>Номинальная выходная мощность</td> <td>51.8Вт</td> </tr> <tr> <td>Номинальная входная мощность</td> <td>66Вт</td> </tr> <tr> <td>Номинальный КПД</td> <td>78.5%</td> </tr> <tr> <td>Максимальный продолжительный момент</td> <td>15Н · см</td> </tr> <tr> <td>Максимальный продолжительный ток</td> <td>2.75А</td> </tr> <tr> <td>Максимальные обороты</td> <td>10000об / мин</td> </tr> <tr> <td>Пусковой момент</td> <td>114Н · см</td> </tr> <tr> <td>Пусковой ток</td> <td>19.6А</td> </tr> <tr> <td>Сопротивление якоря</td> <td>1.03Ом</td> </tr> </table>					Параметр	Значение	Номинальное напряжение	24В	Номинальный крутящий момент	15Н · см	Номинальная скорость	3300об / мин	Номинальный ток	2.75А	Скорость холостого хода	3800об / мин	Ток при холостом ходе	0.2А	Номинальная выходная мощность	51.8Вт	Номинальная входная мощность	66Вт	Номинальный КПД	78.5%	Максимальный продолжительный момент	15Н · см	Максимальный продолжительный ток	2.75А	Максимальные обороты	10000об / мин	Пусковой момент	114Н · см	Пусковой ток	19.6А	Сопротивление якоря	1.03Ом
	Параметр	Значение																																			
Номинальное напряжение	24В																																				
Номинальный крутящий момент	15Н · см																																				
Номинальная скорость	3300об / мин																																				
Номинальный ток	2.75А																																				
Скорость холостого хода	3800об / мин																																				
Ток при холостом ходе	0.2А																																				
Номинальная выходная мощность	51.8Вт																																				
Номинальная входная мощность	66Вт																																				
Номинальный КПД	78.5%																																				
Максимальный продолжительный момент	15Н · см																																				
Максимальный продолжительный ток	2.75А																																				
Максимальные обороты	10000об / мин																																				
Пусковой момент	114Н · см																																				
Пусковой ток	19.6А																																				
Сопротивление якоря	1.03Ом																																				
Подпись и дата	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="width: 40%;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Изм</td> <td style="width: 15%;">Лист</td> <td style="width: 15%;">№ док-м.</td> <td style="width: 15%;">Подпись</td> <td style="width: 15%;">Дата</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;"> <p>БР – 15.03.06 ПЗ</p> </div> <div style="width: 10%; text-align: center;"> <p>Лист</p> </div> </div>					Изм	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата																											
	Изм	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата																																
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="width: 40%;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Изм</td> <td style="width: 15%;">Лист</td> <td style="width: 15%;">№ док-м.</td> <td style="width: 15%;">Подпись</td> <td style="width: 15%;">Дата</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;"> <p>БР – 15.03.06 ПЗ</p> </div> <div style="width: 10%; text-align: center;"> <p>33</p> </div> </div>					Изм	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата																												
Изм	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата																																	

Окончание таблицы 3.1

Момент трения	$1.2H \cdot см$
Механическая постоянная времени	$12мс$
Электрическая постоянная времени	$1.2мс$
Инерция ротора	$383г \cdot см^2$
Максимальная температура корпуса	$80^{\circ}C$
Допустимая осевая нагрузка на вал	$40H$
Допустимая радиальная нагрузка на вал	$100H$

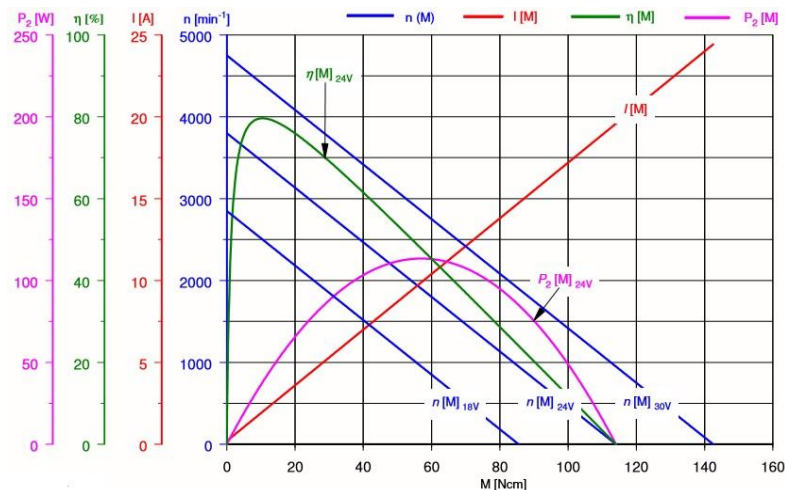


Рисунок 3.2 – Характеристики двигателя

3.2 Обзор силовой платы управления

Как известно, мобильная платформа приводится в движение с помощью электродвигателей, но и самим двигателем необходимо управлять. Для управления двигателями используются устройства, называемые драйверами двигателей. Они в связке с транзисторными ключами и микроконтроллером образуют силовую часть системы управления двигателем постоянного тока. Структурная схема силовой части приведена на рисунке 3.3

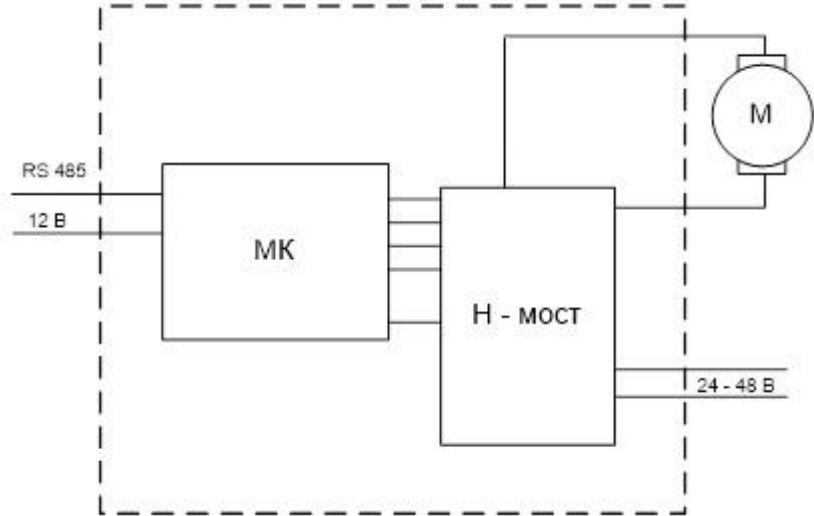
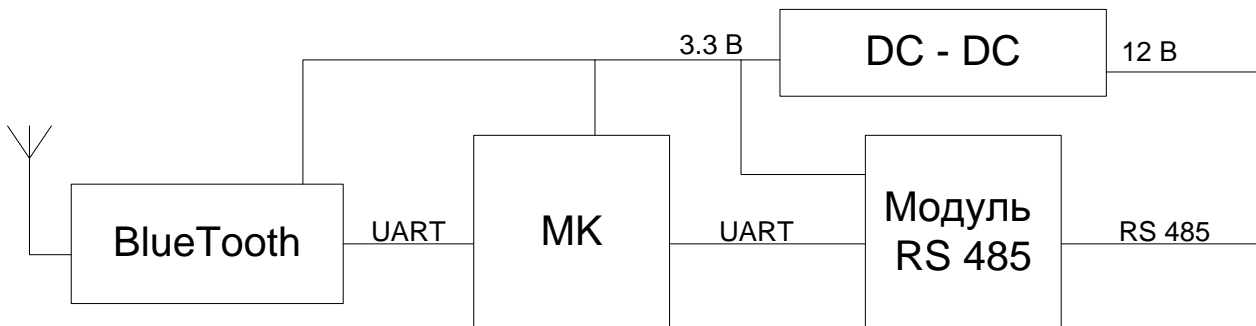



Рисунок 3.3 – Структурная схема силовой части

Перв. примен.		<p>Блок AWeX предназначен для расширения возможностей таймера-счетчика, когда он работает в режимах генерации импульсов (WG). Блок AWeX позволяет легко и надежно реализовать расширенные функции управления электродвигателем (асинхронный, шаговый, коммутируемый реактивный и бесщеточный постоянного тока) или силовым преобразовательным каскадом.</p> <p>Как показано на рисунке 3.5, при использовании любой из возможностей блока AWeX каждый выход генераторов импульсов таймера-счетчика 0 разделяется на два комплементарных сигнала. Данные пары сигналов поступают в блок генерации паузы неперекрывтия (блок DTI), который генерирует неинвертированный сигнал нижнего уровня и инвертированный сигнал верхнего уровня, между импульсами которых вставлена пауза неперекрывтия. Выходы DTI перекрывают нормальное состояние линий порта при условии соответствующей настройки перекрывтия. Результирующий выходной сигнал при необходимости может быть проинвертирован в порте. Для этого необходимо установить бит инвертирования (INVEN) для соответствующей линии ввода-вывода (Pxn).</p> <p>3.2.1 Обзор микроконтроллера XМega А</p> <p>Микроконтроллеры XМega А (Рисунок 3.6) интегрируют следующие ресурсы: внутрисистемно-программируемая Flash-память с возможностями чтения во время записи, внутренние EEPROM и SRAM, четырехканальный DMA-контроллер, восьмиканальная система событий и программируемый многоуровневый контроллер прерываний, до 78 линий ввода-вывода общего назначения, 16- или 32-битный счетчик реального времени (RTC), до 8 универсальных 16-битных таймеров-счетчиков с режимами сравнения и возможностями широтно-импульсной модуляции (ШИМ), до восьми интерфейсов USART, до четырех I2C- и SMBUS-совместимых интерфейсов TWI, до четырех интерфейсов SPI, ускорители криптографических алгоритмов AES и DES, до двух 8-канальных 12-битных аналогово-цифровых преобразователей (АЦП, ADC) с опциональным дифференциальным входным усилительным каскадом с программируемым усилением, до двух 2-канальных 12-битных цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП, DAC), до четырех аналоговых компараторов с оконным режимом, программируемый сторожевой таймер с отдельным внутренним генератором, точные внутренние генераторы с функциями фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ, PLL) и предделения частоты, а также программируемый супервизор питания (BOD).</p> <p>Кроме того, в МК входят два интерфейса, которые могут использоваться для программирования МК и доступа к встроенной отладочной системе: 2-проводной быстродействующий интерфейс PDI и IEEE 1149.1-совместимый интерфейс JTAG.</p> <p>МК XМega А поддерживают пять программно-выбираемых экономичных режима работы. В режиме IDLE останавливается ЦПУ, но, при этом, продолжают работать SRAM, DMA-контроллер, система событий, контроллер прерываний и все YBB. В режиме POWER-DOWN сохраняется содержимое SRAM и регистров, а все прочие функции, вследствие остановки генераторов,</p>										
		Справ. №										
Подпись и дата				Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подпись и дата		Инв. № подл.		
<div>Изм. Лист № докум. Подпис. Дата</div> <div>БР – 15.03.06 ПЗ</div> <div>Лист 36</div>												

Перв. примен.	<p>прекращают работу до следующего прерывания модуля TWI, прерывания по изменению состояния выводов или сброса МК. В режиме POWER-SAVE, продолжает работу асинхронный счетчик реального времени, оставляя активной функцию счета времени, а остальная часть МК бездействует. В режиме STANDBY, отключены все ресурсы МК, кроме кварцевого генератора. Использование этого режима полезно в случаях, когда в сочетании с малым энергопотреблением необходимо добиться очень малых задержек возобновления нормального функционирования МК.</p> <p>В режиме EXTENDED STANDBY, остаются в работе и основной генератор, и асинхронный таймер. Добиться дальнейшего снижения энергопотребления можно путем отключения синхронизации неиспользуемых УВВ в активном режиме работы, а также в режиме IDLE.</p> <p>Микроконтроллеры XMeta A поддерживаются полным набором программных и аппаратных средств для проектирования, в т.ч. Си-компиляторы, макроассемблеры, программные отладчики/симуляторы, программаторы и оценочные наборы.</p>
Справ. №	
Подпись и Дата Инв. № дубл. Взам. инв. № Подпись и Дата Инв. № подл.	<p>Рисунок 3.6 – Функциональная схема микроконтроллера</p> <div style="text-align: right;"> Лист 37 </div>

Перв. примен.	<h3>3.3 Радиоканал</h3> <p>Для обмена данными между системой верхнего уровня и системой управления организован радиоканал, на основе Bluetooth модуля (Рисунок 3.7). Он позволяет отправлять команды и принимать данные в нужные промежутки времени в радиусе до 100 метров друг от друга.</p> 				
	<p>Рисунок 3.7 – Структурная схема радиоканала</p>				
Справ. №	<h3>3.4 Питание мобильной платформы</h3> <p>Для питания мобильной платформы используются литий-ионные аккумуляторы форм-фактора 18650 (Рисунок 3.8). Они имеют высокую надёжность и выдерживают до 1000 циклов зарядки-разрядки. Цепь из 8 подключенных последовательно аккумуляторов, даёт нам необходимые 24 вольта для питания двигателей. Остальные элементы питаются уже через преобразователи напряжения, подключённые к данным аккумуляторам.</p> 				
	<p>Рисунок 3.8 - Аккумуляторы</p>				

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

БР – 15.03.06 ПЗ

Лист38

Перв. примен.				
Справ. №				
Подпись и дата				
Инв. № дубл.				
Взам. инв. №				
Подпись и дата				
Инв. № подл.				

3.5 Структурная схема мобильной платформы

В ходе компоновки всех частей электрической составляющей мобильной платформы была получена общая структурная схема МП, показывающая связь между отдельными её компонентами (рисунок 3.9).

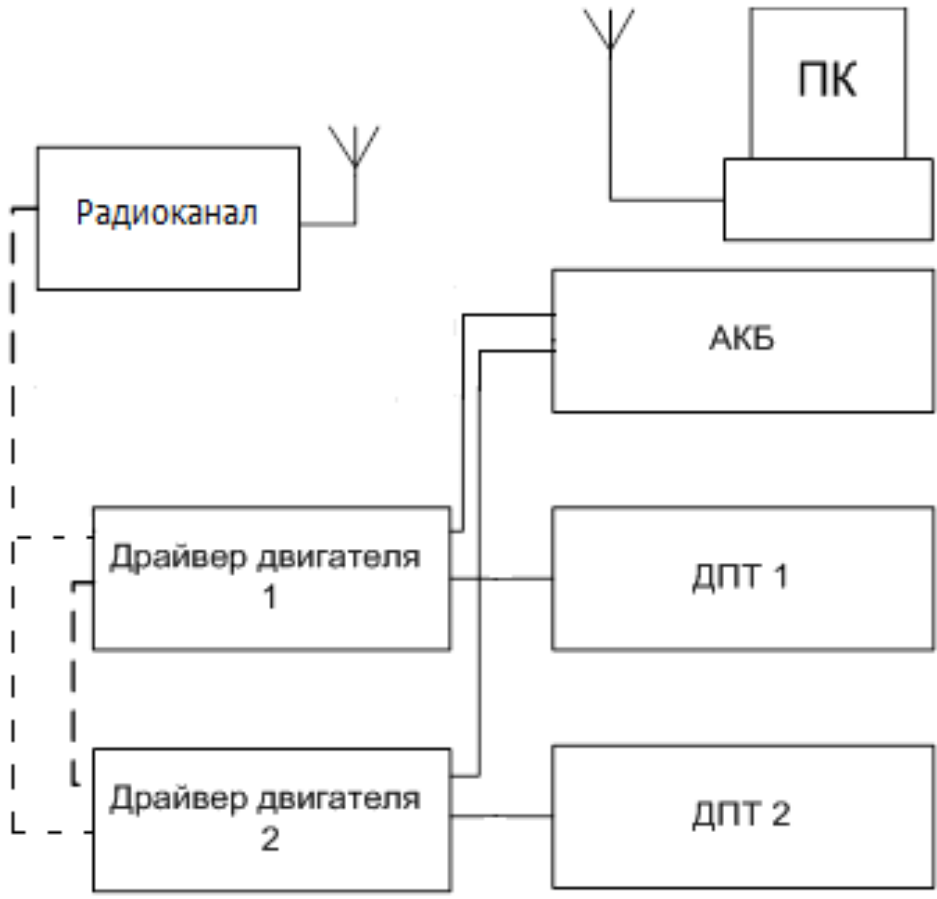


Рисунок 3.9 – Структурная схема мобильной платформы

Система верхнего уровня (ПК) отправляет команды и принимает данные через радиоканал. Радиоканал в свою очередь обрабатывает полученные данные и отправляет их либо ПК, либо МК, которые находятся в структуре драйверов двигателя. Драйверы двигателя питаются от АКБ и также отправляют или принимают данные с двигателей и радиоканала.

Справ. №	Перв. примен.			
----------	---------------	--	--	--

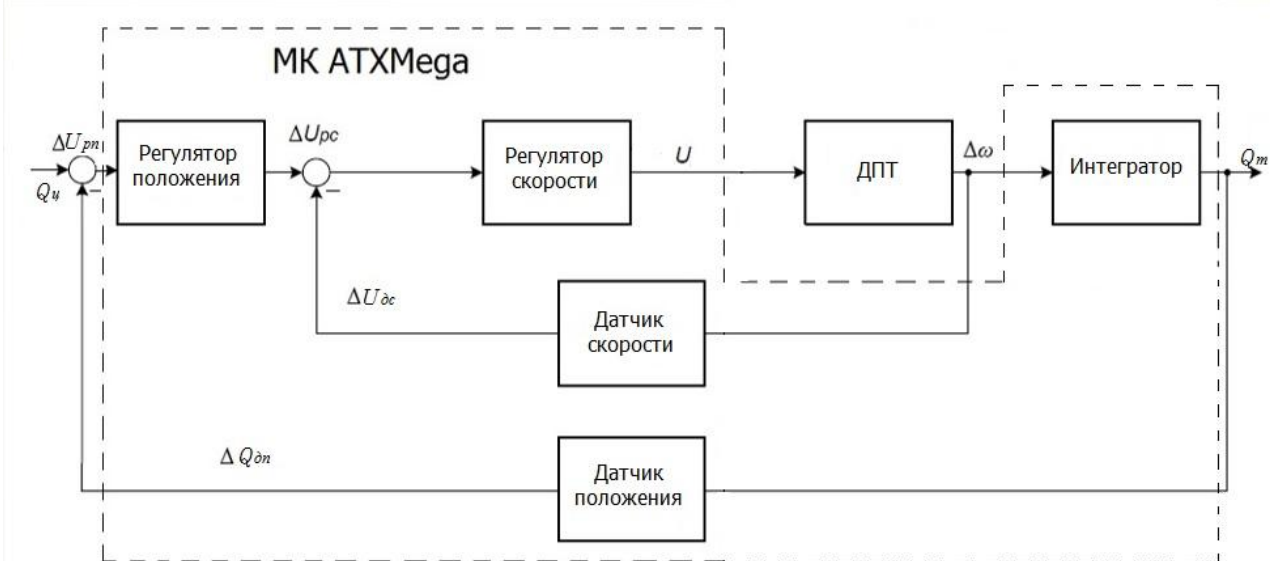
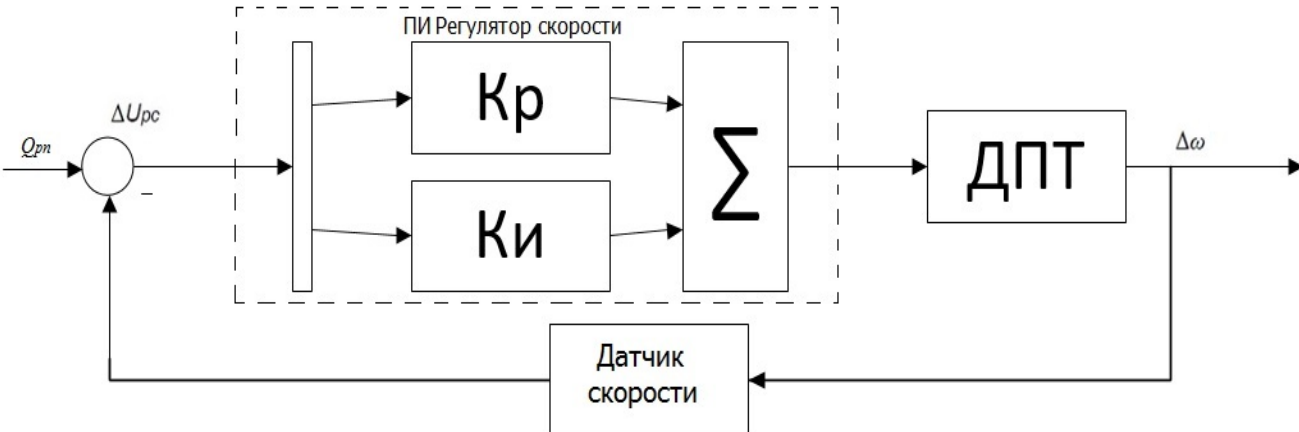
3.6 Функциональная схема мобильной платформы

Функциональная схема представляет собой наглядный вид функционирования мобильного комплекса. Функциональная схема (рисунок 3.10) состоит из аккумулятора, двух силовых плат управления двигателями, и радиомодуля.

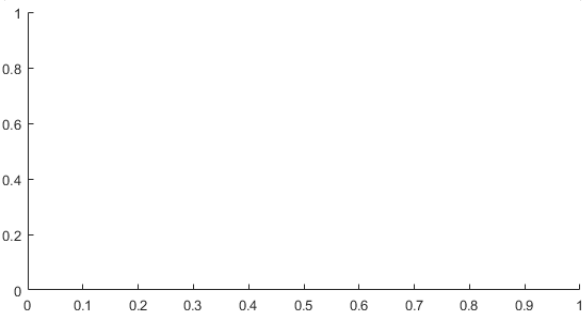
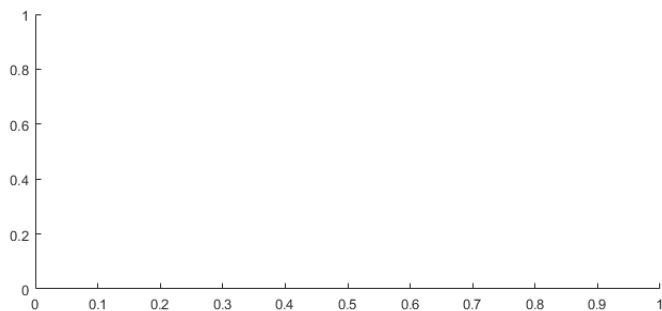
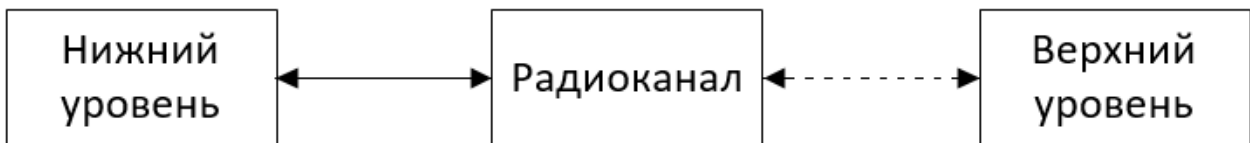
Рисунок 3.10 – Функциональная схема мобильной платформы

Питание 24В поступает с аккумулятора на силовые платы управления двигателями. На силовой плате через преобразователи напряжения отдельно питаются МК и H-мост. Напряжение, полученное на силовой плате, питает радиомодуль, который в свою очередь также имеет преобразователь напряжения для питания своего МК.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<p style="font-size: 1.2em; margin: 0;">БР – 15.03.06 ПЗ</p>	Лист
Инв. №	Подпись	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата		40
Изм.	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата		

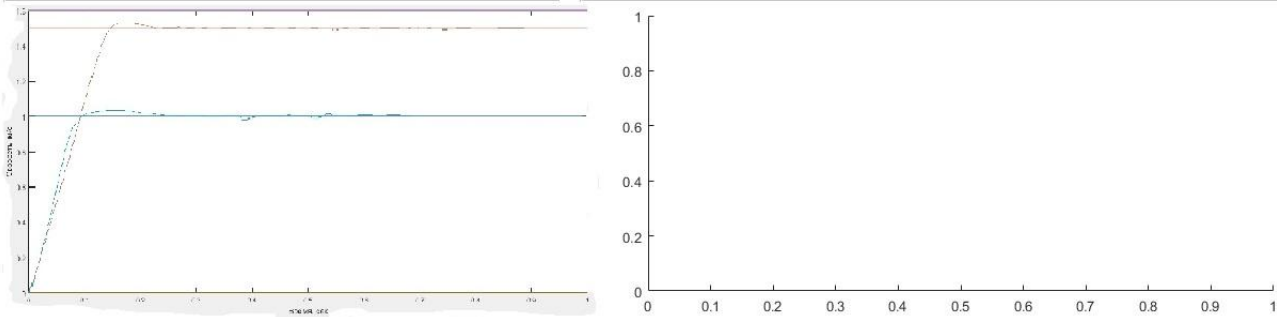
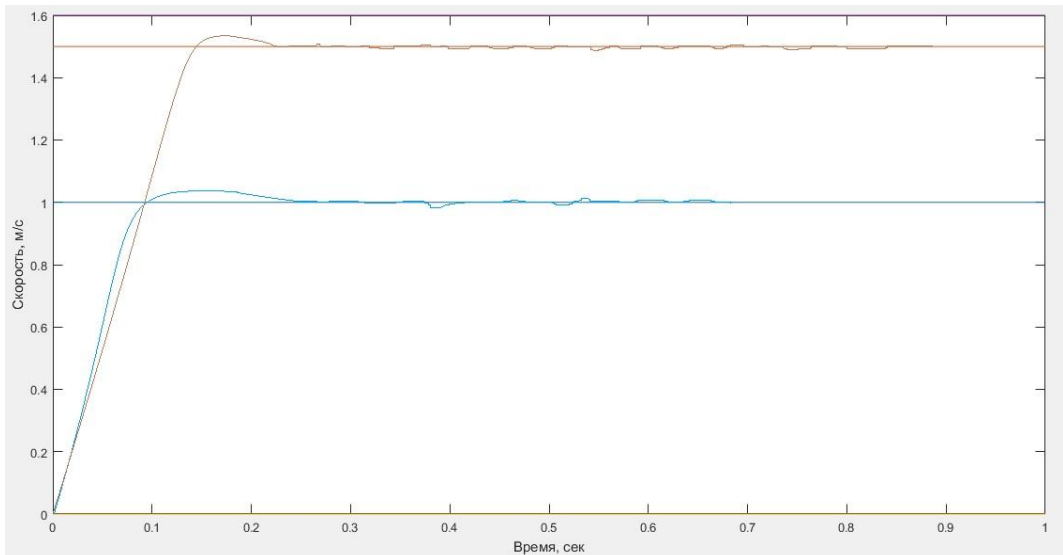
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Перв. примен.	<h2>4 Разработка системы управления мобильной платформой</h2> <p>Для управления мобильной платформой необходимо было разработать систему управления включающую:</p> <p>1) систему управления нижнего уровня, включающую в себя контур скорости и контур положения. Причём для проведения экспериментов контур положения необходимо сделать отключаемым.</p> <p>2) систему управления верхнего уровня для отправки заданий на МП и обработки данных, получаемых с платформы.</p> <h3>4.1 Структурная схема системы управления</h3> <p>Структурная схема системы управления изображена на рисунке 4.1. Как видно из рисунка, вся система является программной и работает на микроконтроллере ATX Mega. Датчики скорости и положения являются квадратурными энкодерами двигателя и вырабатывают 400 импульсов за оборот.</p>  <p>Рисунок 4.1 – Структурная схема системы управления</p> <h3>4.2 Разработка контура скорости</h3>  <p>Рисунок 4.2 – Контур скорости</p>
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ	Лист 33

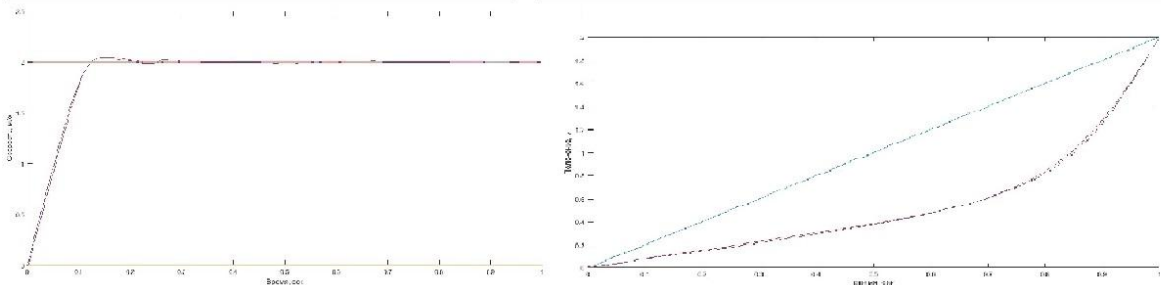
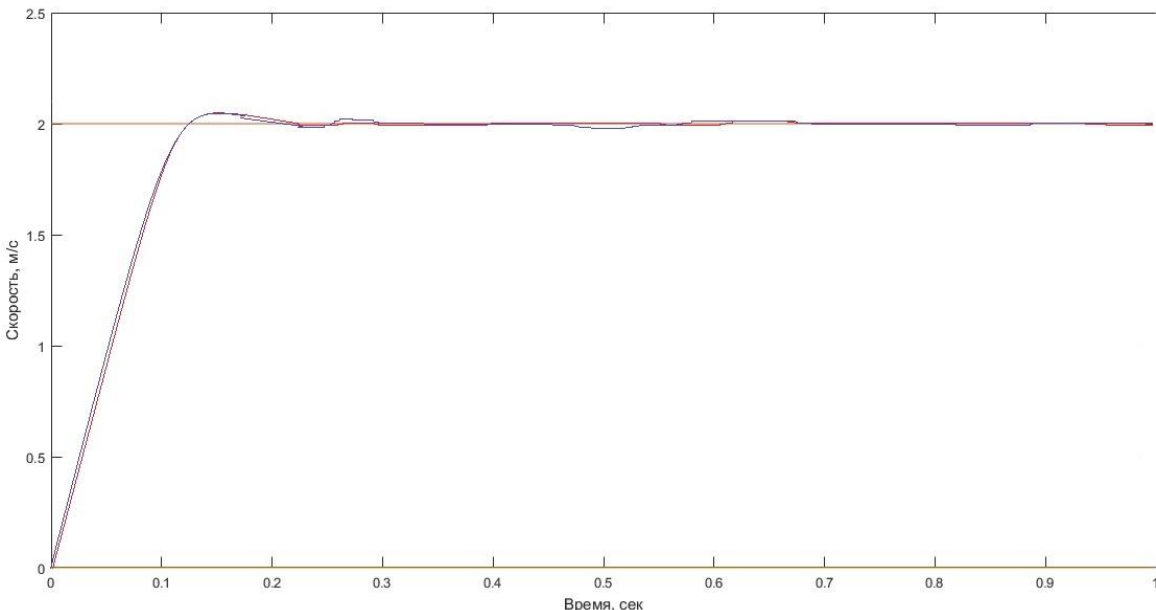
Справ. №	Перв. примен.	<p>Как видно из рисунка 4.2 контур скорости включает в себя двигатель постоянного тока со встроенным в него энкодером и сам регулятор. На вход регулятора подаётся либо задание с выхода регулятора положения, либо задание по скорости. Из текущего задания вычитается скорость, измеренная энкодером и полученная ошибка умножается на пропорциональный и интегральный коэффициенты. Далее пропорциональная и интегральная части складываются и в зависимости от этой суммы, вырабатывается сигнал ШИМ, поступающий на драйвер двигателя.</p> <h3>4.3 Разработка контура положения</h3> <p>Структурная схема контура положения приведена на рисунке 4.3.</p>  <p>Рисунок 4.3 – Контур положения</p> <p>В контуре регулирования положения обычно достаточно пропорционального регулятора. В нашем случае регуляторы программные, поэтому добавление интегральной части занимает малое время. Принцип действия контура положения аналогичен принципу действия контура скорости. Датчиком положения является тот же энкодер, который считает скорость. В данном случае скорость каждую итерацию прибавляется к положению, увеличивая или уменьшая текущее положение.</p> <h3>4.4 Разработка верхнего уровня системы управления</h3> <p>Разработка системы верхнего уровня необходима для управления элементами системы нижнего уровня. В программе MatLAB была разработана система, изображённая на рисунке 4.4.</p>													
Инв. № подл.	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Подпись и дата	<table><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ докум.</td><td>Подпис.</td><td>Дата</td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table> <div>БР – 15.03.06 ПЗ</div> <div>Лист 34</div>	Изм.	Лист	№ докум.	Подпис.	Дата					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис.	Дата											

Перв. примен.	<div><div>Управление COM-портом</div><div>Состояние COM-порта: <div>Вкл</div></div></div>		<div><div>Управление питанием</div><div>Питание: <div>Вкл</div></div></div>			
	<div><div>Контур скорости</div><div>КП: <div></div> КИ: <div></div></div><div>Задание для двиг. №1: <div></div></div><div>Задание для двиг. №2: <div></div> <div>Задать</div></div><div><div>Отработать задание</div> <div>Удалить данные</div></div></div>		<div><div>Контур положения</div><div><div>Вкл Кон. Пол.</div> <div>Выкл Кон. Пол.</div> КП: <div></div> КИ: <div></div></div><div>Задание по X: <div></div> <div>Задать</div> Максимальная скорость: <div></div></div><div>Задание по Y: <div></div></div><div><div>Отработать задание</div> <div>Удалить данные</div></div></div>			
Справ. №						
	Рисунок 4.4 – Окно программы					
Подпись и дата	<p>Окно программы (рисунок 4.4) разбито на несколько логически разделённых частей:</p> <p>1) управление СОМ-портом – используется для открытия и закрытия СОМ-порта. При закрытом порте, программа не имеет доступа к радиоканалу, принимающему и отправляющему команды;</p> <p>2) управление питанием – включает и отключает питание силовых плат управления;</p> <p>3) в блоке контура скорости задаются значения регулятора и задания для двигателей. При нажатии на кнопку «Задать» все значения в заполненных полях отправляются в виде пакетов данных в СОМ-порт, который пересылает их на силовые платы управления, где они уже записываются в памяти программы;</p> <p>4) контур положения включается и выключается через кнопки «Вкл Кон. Пол.» и «Выкл Кон. Пол.». Также в контуре положения можно ограничить максимальную скорость двигателей. При нажатии кнопки «Отработать задание», программа начинает получать поочерёдно положение и скорость от двух силовых плат и выводить полученные данных на графики скорости и положения.</p>					
	<p>4.5 Протокол обмена данными между верхним и нижним уровнями управления</p>					
						
	Рисунок 4.5 – Схема обмена данными					
Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ	Лист

Перв. примен.	<p>Рисунок 4.5 показывает общую схему обмена данными между верхним и нижним уровнями управления. Обмен происходит через радиоканал, который подключается в СОМ-порту ПК.</p> <p>К сети в общем случае подключено одно ведущее устройство (верхний уровень управления) и несколько ведомых устройств (нижний уровень управления). Ведущее устройство инициирует начало обмена в виде отправки пакета, содержащего команду или команду и данные. В зависимости от команды ведомые устройства могут отправлять или принимать данные, которые также находятся в составе пакетов.</p>																									
	Справ. №	<p>Таблица 4.1 – Формат пакета</p> <table><tr><td>Заголовок пакета</td><td>Адрес устройства</td><td>Длина пакета</td><td>Команда</td><td>Данные</td><td>CRC16</td><td>Окончание пакета</td></tr><tr><td>2 байта</td><td>2 байта</td><td>1 байт</td><td>2 байта</td><td>0-55 байт</td><td>2 байта</td><td>2байта</td></tr></table> <p>Пример пакета для включения первого драйвера ДПТ</p> <table><tr><td>fefe</td><td>0801</td><td>09</td><td>AA77</td><td>0A00</td><td>625d</td><td>ffff</td></tr></table>					Заголовок пакета	Адрес устройства	Длина пакета	Команда	Данные	CRC16	Окончание пакета	2 байта	2 байта	1 байт	2 байта	0-55 байт	2 байта	2байта	fefe	0801	09	AA77	0A00	625d
Заголовок пакета		Адрес устройства	Длина пакета	Команда	Данные	CRC16	Окончание пакета																			
2 байта	2 байта	1 байт	2 байта	0-55 байт	2 байта	2байта																				
fefe	0801	09	AA77	0A00	625d	ffff																				
Подпись и Дата	<p>Таблица 4.2 – Адреса устройств</p> <table><tr><td>Название устройства</td><td>Адреса устройств</td></tr><tr><td>Драйвер первого двигателя</td><td>0F01</td></tr><tr><td>Драйвер второго двигателя</td><td>0F02</td></tr><tr><td>Питание</td><td>0801</td></tr></table>					Название устройства	Адреса устройств	Драйвер первого двигателя	0F01	Драйвер второго двигателя	0F02	Питание	0801													
	Название устройства	Адреса устройств																								
Драйвер первого двигателя	0F01																									
Драйвер второго двигателя	0F02																									
Питание	0801																									
Инв. № дубл.	<p>Таблица 4.3 – Команды</p> <table><tr><td>Описание</td><td>Команда</td></tr><tr><td>Включить силовое питание</td><td>AA77</td></tr><tr><td>Выключить силовое питание</td><td>77AA</td></tr><tr><td>Задать Кр регулятора скорости</td><td>0A01</td></tr><tr><td>Задать Ки регулятора скорости</td><td>0A02</td></tr><tr><td>Задание первого двигателя</td><td>0A03</td></tr><tr><td>Задание второго двигателя</td><td>0A04</td></tr></table>					Описание	Команда	Включить силовое питание	AA77	Выключить силовое питание	77AA	Задать Кр регулятора скорости	0A01	Задать Ки регулятора скорости	0A02	Задание первого двигателя	0A03	Задание второго двигателя	0A04							
	Описание	Команда																								
Включить силовое питание	AA77																									
Выключить силовое питание	77AA																									
Задать Кр регулятора скорости	0A01																									
Задать Ки регулятора скорости	0A02																									
Задание первого двигателя	0A03																									
Задание второго двигателя	0A04																									
Взам. инв. №	<table><tr><td>Изм</td><td>Лист</td><td>№ докум.</td><td>Подпись</td><td>Дата</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>					Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата																
	Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата																					
Подпись и Дата	<div>БР – 15.03.06 ПЗ</div>																									
	<div>Лист 36</div>																									
Инв. № подл.																										

Справ. №	Перв. примен.	Окончание таблицы 4.3								
		Отправка данных о скорости		0B01						
		Обнуление данных в регуляторе скорости		0B02						
		Включить контур положения		0C01						
		Выключить контур положения		0C02						
		Задать Кр регулятора положения		0D01						
		Задать Ки регулятора положения		0D02						
		Задание позиции первого двигателя		0D04						
		Задание позиции второго двигателя		0D04						
		Отправка данных о положении		0E01						
Обнуление данных в регуляторе положения		0E02								
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<div> <div>БР – 15.03.06 ПЗ</div> <div>Лист 37</div> </div>					
						Изм	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

Перв. примен.	<div>1 Испытания мобильной платформы</div> <div>Необходимость испытания мобильной платформы обусловлено тем, что программный код системы управления имеет достаточно сложную структуру, а испытания позволяют вычислить недочёты в программном коде и устранить их. Так как мы имеем двухконтурную систему управления и имеем возможность проводить испытания как с контуром скорости отдельно, так и включённым в контур положения, то необходимо провести над ними отдельные испытания.</div> <div>1.1 Испытание работы контура скорости</div> <div>Для испытания контура скорости, не будем включать контур положения и применим параметры, изображённые на рисунке 5.1.</div>				
	Справ. №	<div><div><div>Управление COM-портом</div><div>Состояние COM-порта: <div>Выкл</div></div></div><div><div>Контур скорости</div><div>КП: 1 КИ: 46</div><div>Задание для двиг.№1: 1 Задание для двиг.№2: 1.5 <div>Задать</div></div><div><div>Отработать задание</div><div>Удалить данные</div></div></div><div><div>Управление питанием</div><div>Питание: <div>Выкл</div></div></div><div><div>Контур положения</div><div><div>Вкл Конт. Пол.</div><div>Выкл Конт. Пол.</div> КП: КИ: <div>Задать</div></div><div>Задание по X: Задание по Y: Максимальная скорость: </div><div><div>Отработать задание</div><div>Удалить данные</div></div></div><div><div></div></div></div>			
Подпись и дата		<div>Рисунок 5.1 – Результат работы контура скорости</div> <div></div>			
	Инв. № дубл.	<div>Рисунок 5.2 – График скорости</div>			
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					
<div>Изм. Лист № докум. Подпис Дата</div> <div>БР – 15.03.06 ПЗ</div> <div>Лист 33</div>					

Перв. примен.	<p>Из графика скорости (рисунок 5.2) можно увидеть, что контур скорости поддерживает скорость в пределах задания при заданных значениях параметров регулятора. При этом перерегулирование составляет 5% при времени регулирования 0.2 секунд для обоих двигателей.</p> <p>На графике также видны небольшие отклонения скорости, но они легко исправляются включением усреднения скорости и кода регулятора.</p> <h3>1.2 Испытание контура положения</h3> <p>Для испытания контура скорости, включим контур положения и применим параметры, изображённые на рисунке 5.3.</p> <div><div><div>Управление COM-портом</div><div>Состояние COM-порта: <div>Выкл</div></div></div><div><div>Управление питанием</div><div>Питание: <div>Выкл</div></div></div></div> <div><div><div>Контур скорости</div><div>КП: <div>1</div> КИ: <div>46</div><div>Задание для двиг. №1: <div>2</div> <div>Задать</div><div>Задание для двиг. №2: <div>2</div><div>Отработать задание</div> <div>Удалить данные</div></div></div><div><div>Контур положения</div><div><div>Вкл Кон. Пол.</div> <div>Выкл Кон. Пол.</div> КП: <div>1</div> КИ: <div>1</div><div>Задание по X: <div>2</div> <div>Задать</div> Максимальная скорость: <div>2</div><div>Задание по Y: <div>2</div><div>Отработать задание</div> <div>Удалить данные</div></div></div></div></div><div><div></div></div></div></div></div>										
	Справ. №	<p>Рисунок 5.3 – Результат работы контура скорости</p> <div></div> <p>Рисунок 5.4 – График скорости</p>									
Подпись и дата		Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ

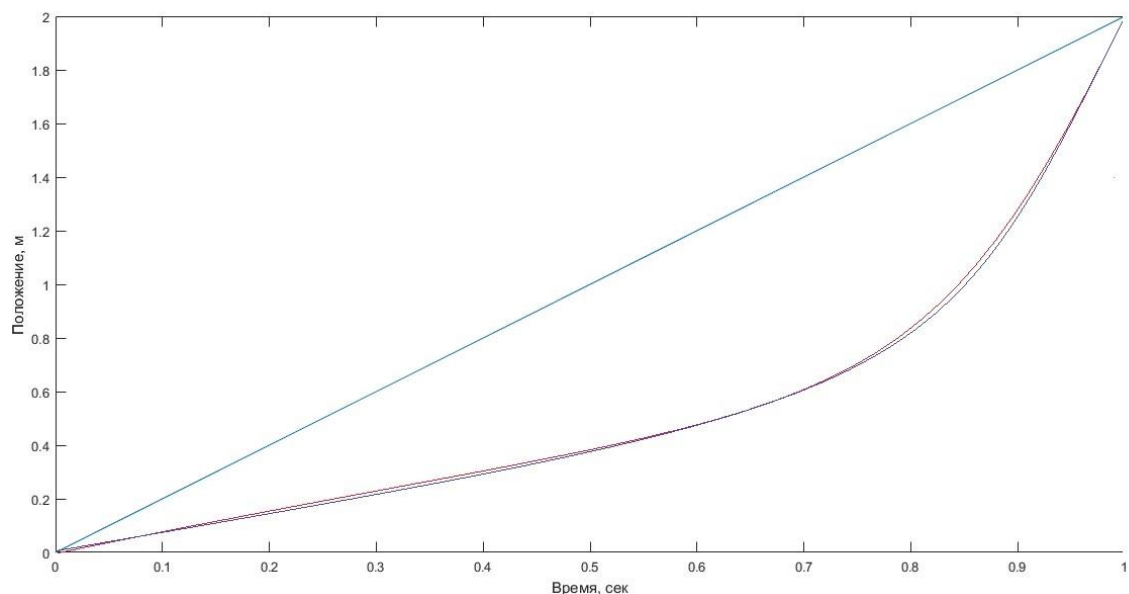


Рисунок 5.5 – График положения

Из рисунка 5.5 видно, что МП достиг заданного ему задания и при этом соблюдал заданную для него максимальную скорость.

По результатам, полученным в пунктах 5.1-5.2 можем сделать вывод что система управления работает правильно, и так же позволяет сгладить недочёты, связанные конструкцией ПМ (трение, натяжение ремней и пр.).

Перв. примен.	<div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;">6 Технико-экономическое обоснование проекта</div> <p>Целью технико-экономического расчета является определение сметы затрат на разработку стенда.</p> <p>Смета затрат - это выражение в денежной форме затрат предприятия на разработку и выполнение хозяйственно-договорной работы. Смета затрат будет складываться из затрат на:</p> <ul style="list-style-type: none"> - стоимость программного обеспечения и оборудования; - заработную плату; - электроэнергию; - аренду помещения. <p>Далее представлен расчет всех составляющих сметы затрат на разработку системы.</p> <div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-top: 20px;">6.1 Расчёт затрат на основное оборудование, программное обеспечение и изготовление мобильной платформы</div> <p>Стоимость затрат на приобретение оборудования, программного обеспечения и деталей учебно-лабораторного стенда вычислим по формуле:</p> $S_z = S_{об} + S_{прог} + S_{дет}, \quad (6.1)$ <p>где $S_{об}$ – стоимость затрат на приобретение основного оборудования, представлена в таблице 1;</p> <p>$S_{прог}$ – затраты на приобретение программного обеспечения, представлены в таблице 2;</p> <p>$S_{дет}$ – затраты на приобретение деталей учебно-лабораторного стенда, представлены в таблице 3.</p> <div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-top: 20px;">Таблица 6.1 – Стоимость основного оборудования</div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 35%;">Наименование</th> <th style="width: 30%;">Количество, шт</th> <th style="width: 35%;">Стоимость, руб</th> </tr> <tr> <td>Ноутбук DNS</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: right;">24000</td> </tr> </table> <div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-top: 20px;">Таблица 6.2 – Стоимость программного обеспечения</div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">Наименование</th> <th style="width: 50%;">Стоимость, руб</th> </tr> <tr> <td>Microsoft Windows 10 pro</td> <td style="text-align: right;">12000</td> </tr> <tr> <td>Microsoft Office 2015</td> <td style="text-align: right;">15000</td> </tr> <tr> <td>SolidWorks</td> <td style="text-align: right;">48000</td> </tr> <tr> <td>MatLAB</td> <td style="text-align: right;">150000</td> </tr> <tr> <td>Общая стоимость</td> <td style="text-align: right;">225000</td> </tr> </table>					Наименование	Количество, шт	Стоимость, руб	Ноутбук DNS	1	24000	Наименование	Стоимость, руб	Microsoft Windows 10 pro	12000	Microsoft Office 2015	15000	SolidWorks	48000	MatLAB	150000	Общая стоимость	225000
	Наименование	Количество, шт	Стоимость, руб																				
Ноутбук DNS	1	24000																					
Наименование	Стоимость, руб																						
Microsoft Windows 10 pro	12000																						
Microsoft Office 2015	15000																						
SolidWorks	48000																						
MatLAB	150000																						
Общая стоимость	225000																						
Справ. №																							

Подпись и дата	Инв. № дубл.	<div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;">Таблица 6.1 – Стоимость основного оборудования</div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 35%;">Наименование</th> <th style="width: 30%;">Количество, шт</th> <th style="width: 35%;">Стоимость, руб</th> </tr> <tr> <td>Ноутбук DNS</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: right;">24000</td> </tr> </table> <div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-top: 20px;">Таблица 6.2 – Стоимость программного обеспечения</div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">Наименование</th> <th style="width: 50%;">Стоимость, руб</th> </tr> <tr> <td>Microsoft Windows 10 pro</td> <td style="text-align: right;">12000</td> </tr> <tr> <td>Microsoft Office 2015</td> <td style="text-align: right;">15000</td> </tr> <tr> <td>SolidWorks</td> <td style="text-align: right;">48000</td> </tr> <tr> <td>MatLAB</td> <td style="text-align: right;">150000</td> </tr> <tr> <td>Общая стоимость</td> <td style="text-align: right;">225000</td> </tr> </table>					Наименование	Количество, шт	Стоимость, руб	Ноутбук DNS	1	24000	Наименование	Стоимость, руб	Microsoft Windows 10 pro	12000	Microsoft Office 2015	15000	SolidWorks	48000	MatLAB	150000	Общая стоимость	225000
		Наименование	Количество, шт	Стоимость, руб																				
Ноутбук DNS	1	24000																						
Наименование	Стоимость, руб																							
Microsoft Windows 10 pro	12000																							
Microsoft Office 2015	15000																							
SolidWorks	48000																							
MatLAB	150000																							
Общая стоимость	225000																							
Взам. инв. №																								

Подпись и дата	Инв. № подл.	<div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;">Таблица 6.1 – Стоимость основного оборудования</div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 35%;">Наименование</th> <th style="width: 30%;">Количество, шт</th> <th style="width: 35%;">Стоимость, руб</th> </tr> <tr> <td>Ноутбук DNS</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: right;">24000</td> </tr> </table> <div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-top: 20px;">Таблица 6.2 – Стоимость программного обеспечения</div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">Наименование</th> <th style="width: 50%;">Стоимость, руб</th> </tr> <tr> <td>Microsoft Windows 10 pro</td> <td style="text-align: right;">12000</td> </tr> <tr> <td>Microsoft Office 2015</td> <td style="text-align: right;">15000</td> </tr> <tr> <td>SolidWorks</td> <td style="text-align: right;">48000</td> </tr> <tr> <td>MatLAB</td> <td style="text-align: right;">150000</td> </tr> <tr> <td>Общая стоимость</td> <td style="text-align: right;">225000</td> </tr> </table>					Наименование	Количество, шт	Стоимость, руб	Ноутбук DNS	1	24000	Наименование	Стоимость, руб	Microsoft Windows 10 pro	12000	Microsoft Office 2015	15000	SolidWorks	48000	MatLAB	150000	Общая стоимость	225000
		Наименование	Количество, шт	Стоимость, руб																				
Ноутбук DNS	1	24000																						
Наименование	Стоимость, руб																							
Microsoft Windows 10 pro	12000																							
Microsoft Office 2015	15000																							
SolidWorks	48000																							
MatLAB	150000																							
Общая стоимость	225000																							
Изм	Лист	№ док-м	Подпис	Дата	<div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-top: 20px;">БР – 15.03.06 ПЗ</div>																			

Лист
33

Перв. примен.	Таблица 6.3 – Стоимость деталей мобильной платформы					
	Наименование	Количество, шт	Стоимость, руб			
	Рама алюминиевая 1м	2	760			
	Профиль алюминиевый 30x50 1м	1	340			
	Двигатель М48х60	2	3000			
	Редуктор	2	3000			
	Драйвер двигателя	1	800			
	МК АТХМega 128А1-AU	1	600			
	LCD дисплей 1602	1	330			
	Подшипник 17x26x5	2	150			
	Подшипник 9x20x6	8	500			
	Винт М6х22 с обр. резьбой	2	22			
	Прочие крепёжные элементы		267			
	Общая стоимость		9769			
	Справ. №	<p>Общая стоимость затрат на приобретение оборудования и программного обеспечения равна:</p> $S_3 = 24000 + 225000 + 9769 = 258769 \text{ руб.} \quad (6.2)$				
<p>6.2 Затраты на заработную плату</p>						
<p>С 1 июня 2011 года в Российской Федерации повсеместно Единая Тарифная Сетка отменена. Во всех организациях бюджетной сферы РФ зарплата выплачивается по НСОТ. Оценка уровня квалификации персонала производится по правилам отраслевых систем сертификации.</p>						
<p>Основным принципом новой системы оплаты труда (НСОТ) является разделение заработной платы работника на две части - на гарантированную часть, которая выплачивается работнику за исполнение должностных обязанностей, и на стимулирующую часть, размер которой зависит от того, насколько качественно, эффективно и результативно работал сотрудник. Размер стимулирующих выплат не ограничен.</p>						
<p>В период разработки учебно-лабораторного стенда оклад ведущего инженера составил 5455 рублей в месяц.</p>						
$S_{окл} = 5455 \text{ руб.} \quad (6.3)$						
<p>Тарифная заработная плата (оклад) инженера дипломного проекта без районного и территориального коэффициента составила:</p>						
$S_{ОСН}^{ИТР} = S_{3/П}^{МЕС} \cdot n = 5455 \cdot 4 = 21820 \text{ руб.}, \quad (6.4)$						
<p>где $n = 4$ – количество месяцев работы по 21 рабочему дню в каждом.</p>						
Инв. № подл.						Лист
Подпись и Дата						Лист
Взам. инв. №					Лист	
Инв. № дубл.					Лист	
Подпись и Дата					Лист	
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div> <p>Изм. Лист № докум. Подпис. Дата</p> </div> <div style="flex-grow: 1; text-align: center;"> <p>БР – 15.03.06 ПЗ</p> </div> <div> <p>34</p> </div> </div>						

Перв. примен.	Выплата районного коэффициента 30% рассчитывается по формуле				
	$S_{РАЙ.К.}^{ИТР} = S_{ОСН}^{ИТР} \cdot k_{Р.К.}, \tag{6.5}$				
Справ. №	$S_{РАЙ.К.}^{ИТР} = 21820 \cdot 0.3 = 6546 \text{ руб.} \tag{6.6}$				
	Выплата северного коэффициента 30% рассчитывается по формуле				
	$S_{СЕВ.К.}^{ИТР} = S_{ОСН}^{ИТР} \cdot k_{С.К.}, \tag{6.7}$				
	$S_{СЕВ.К.}^{ИТР} = 21820 \cdot 0.3 = 6546 \text{ руб.} \tag{6.8}$				
	Общая заработная плата инженера дипломного с учетом районного и территориального коэффициента составила:				
	$S_{ОБЩ}^{ИТР} = S_{ОСН}^{МЕС} + S_{РАЙ.К.}^{ИТР} + S_{СЕВ.К.}^{ИТР} = 21820 + 6546 \cdot 2 = 34912 \text{ руб.} \tag{6.9}$				
	Дополнительная заработная плата составляет 20% от основной:				
	$S_{ДОП.}^{ИТР} = S_{ОБЩ}^{ИТР} \cdot 0,2, \tag{6.10}$				
Подпись и дата	$S_{ДОП.}^{ИТР} = 34912 \cdot 0,2 = 6982 \text{ руб.} \tag{6.11}$				
	Итого, заработная плата ведущего инженера без начислений на социальные нужды составила:				
Инв. № дубл.	$\Phi_{ОПЛ.ТР.}^{ИТР} = S_{ОБЩ}^{ИТР} + S_{ДОП.}^{ИТР} \tag{6.12}$				
	$\Phi_{ОПЛ.ТР.}^{ИТР} = 34912 + 6982 = 41894 \text{ руб.} \tag{6.13}$				
Взам. инв. №	Отчисления на социальные нужды составили:				
	$S_{СОЦ.ОТ.} = R_{СОЦ.ОТ.} \cdot \Phi_{ОПЛ.ТР.}^{ИТР}, \tag{6.14}$				
Подпись и дата	где $R_{СОЦ.Н.} = 30\%$, состоит из четырёх составляющих:				
	<div><div>– пенсионный фонд РФ – 22%;</div><div>– фонд социального страхования РФ – 2,9%;</div><div>– федеральный ФОМС – 5,1%.</div><div>– Страхование от несчастных случаев -0.2%</div><div>–</div></div>				
Инв. № подл.	$S_{СОЦ.ОЦ.} = 0.32 \cdot 41894 = 13406.08 \tag{6.15}$				
	<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>				
БР – 15.03.06 ПЗ					Лист
					35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата	

Перв. примен.	Заработная плата с отчислениями на социальные нужды составила:				
	$\Phi_{\text{соц.н.}}^{3/П} = \Phi_{\text{опл.тр.}}^{\text{ИТР}} + S_{\text{соц.от.}} = 41894 + 13406.08 = 55300.08 \quad (6.16)$				
Справ. №	6.3 Затраты на электроэнергию Исходные данные для расчета стоимости электроэнергии: - мощность, потребляемая ПК с монитором – 220 Вт; - мощность, потребляемая генератором – 150 Вт; - мощность, потребляемая лампой дневного света – 40 Вт; - количество ламп в помещении – 10 шт. Расходы на электроэнергию в день:				
	$S_{\text{эл.д.}} = (P_{\text{ПК}} + P_{\text{ГЕН}} + P_{\text{л}} \cdot n) \cdot N_{\text{ч}} \cdot T_{\text{эл.}} \quad (6.17)$ <p> где $P_{\text{ПК}}$ – мощность, потребляемая ПК с монитором; $P_{\text{Э}}$ – мощность, потребляемая генератором; $P_{\text{л}}$ – мощность, потребляемая лампой дневного света; n – количество ламп дневного света; $T_{\text{эл.}}$ - тариф на электроэнергию. $N_{\text{ч}}$ - часов рабочий день </p>				
Подпись и Дата	$S_{\text{эл.д.}} = (0.22 + 0.15 + 0.04 \cdot 10) \cdot 8 \cdot 1.83 = 11.27 \text{руб.} \quad (6.18)$ <p>Расходы на электроэнергию, затраченную на разработку:</p>				
	$S_{\text{эл.}} = S_{\text{эл.д.}} \cdot N, \quad (6.19)$ <p>где N – количество дней:</p>				
Инв. № дубл.	$S_{\text{эл.}} = 11,27 \cdot 100 = 1127 \text{руб.} \quad (6.20)$				
	6.4 Затраты на амортизацию оборудования При разработке программ использовался ноутбук, следовательно, затраты на амортизацию найдем по следующей формуле:				
Взам. инв. №	$Z_A = Z_{\text{АК}} \quad (6.21)$ <p>где $Z_{\text{АК}}$ - затраты на амортизацию ноутбука.</p> <p>Определим затраты на амортизацию компьютера по формуле:</p>				
	<div> <div> <div>Инв. № подл.</div> <div>Подпись и Дата</div> <div>Взам. инв. №</div> <div>Инв. № дубл.</div> <div>Подпись и Дата</div> </div> <div> <div>Изм</div> <div>Лист</div> <div>№ докум.</div> <div>Подпис</div> <div>Дата</div> </div> </div> <div>БР – 15.03.06 ПЗ</div> <div> <div>Лист</div> <div>36</div> </div>				

Перв. примен.	$З_A = \frac{C_K \cdot n_m}{n_l \cdot 12}, \tag{6.22}$ <p>где C_K - первоначальная стоимость оборудования, руб.;</p> <p>n_m - время использования, мес.;</p> <p>n_l - срок службы, лет.</p>																						
	Справ. №	$З_{AK} = \frac{24000 \cdot 4}{5 \cdot 12} = 1600 \text{ руб.} \tag{6.23}$																					
<h3>6.5 Затраты на аренду помещения</h3> <p>Расходы на аренду помещения за время разработки системы составили:</p> $З_{АП} = З_A \cdot П \cdot T_p, \tag{6.24}$ <p>где $З_A$ – стоимость аренды 1 m^2 площади, руб.;</p> <p>$П$ – площадь помещения, m^2;</p> <p>T_p – продолжительность этапа разработки, мес.</p> $З_{АП} = 150 \cdot 10 \cdot 4 = 6000 \text{ руб.} \tag{6.25}$																							
Подпись и Дата	<h3>6.6 Расчёт сметы затрат на разработку мобильной платформы</h3> <p>Все затраты, связанные с расходами на проектирование и изготовление мобильной платформы, приведены в таблице 2.4 и показаны на рисунке 3.1 с помощью диаграммы.</p> <p>Таблица 6.4 – Затраты на проектирование</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 70%;">Наименование затрат</th> <th style="width: 30%;">Сумма затрат, руб</th> </tr> <tr> <td>Затраты на основное оборудование, программное обеспечение и изготовление мобильной платформы</td> <td style="text-align: right;">258769</td> </tr> <tr> <td>Основная заработная плата ведущего инженера</td> <td style="text-align: right;">34912</td> </tr> <tr> <td>Дополнительная заработная плата ведущего инженера</td> <td style="text-align: right;">6982</td> </tr> <tr> <td>Отчисления на социальные нужды</td> <td style="text-align: right;">13406.08</td> </tr> <tr> <td>Затраты на электроэнергию</td> <td style="text-align: right;">1127</td> </tr> <tr> <td>Затраты на амортизацию оборудования</td> <td style="text-align: right;">1600</td> </tr> <tr> <td>Расходы на аренду помещения</td> <td style="text-align: right;">6000</td> </tr> <tr> <td>Итого</td> <td style="text-align: right;">322796.08</td> </tr> </table>					Наименование затрат	Сумма затрат, руб	Затраты на основное оборудование, программное обеспечение и изготовление мобильной платформы	258769	Основная заработная плата ведущего инженера	34912	Дополнительная заработная плата ведущего инженера	6982	Отчисления на социальные нужды	13406.08	Затраты на электроэнергию	1127	Затраты на амортизацию оборудования	1600	Расходы на аренду помещения	6000	Итого	322796.08
	Наименование затрат	Сумма затрат, руб																					
Затраты на основное оборудование, программное обеспечение и изготовление мобильной платформы	258769																						
Основная заработная плата ведущего инженера	34912																						
Дополнительная заработная плата ведущего инженера	6982																						
Отчисления на социальные нужды	13406.08																						
Затраты на электроэнергию	1127																						
Затраты на амортизацию оборудования	1600																						
Расходы на аренду помещения	6000																						
Итого	322796.08																						
Подпись и Дата	<p>Был произведен расчет экономических параметров и составлена смета затрат, так же произведено экономическое обоснование проекта.</p>																						
	Инв. № подл.	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <table border="1" style="width: 40%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>Изм</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дата</td> </tr> </table> <div style="text-align: center; flex-grow: 1;"> <p>БР – 15.03.06 ПЗ</p> </div> <div style="width: 10%; text-align: center;"> <p>Лист</p> <p>37</p> </div> </div>										Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата																			

Перв. примен.	<p>Все задачи решались с учетом требований рынка на сегодняшний день, т.е. использовались новые программные продукты, стандарты, а также современное технологическое оборудование, что говорит о реальной пользе проделанной работы.</p> <p style="text-align: center;">Затраты на проектирование</p> <table border="1"> <caption>Затраты на проектирование</caption> <thead> <tr> <th>Категория</th> <th>Процент</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Затраты на основное оборудование</td> <td>80.2%</td> </tr> <tr> <td>Зарботная плата</td> <td>17.1%</td> </tr> <tr> <td>Затраты на электроэнергию</td> <td>0.3%</td> </tr> <tr> <td>Затраты на амортизацию оборудования</td> <td>0.5%</td> </tr> <tr> <td>Затраты на аренду помещения</td> <td>1.9%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Рисунок 6.1 – Диаграмма затрат на разработку мобильной платформы</p>					Категория	Процент	Затраты на основное оборудование	80.2%	Зарботная плата	17.1%	Затраты на электроэнергию	0.3%	Затраты на амортизацию оборудования	0.5%	Затраты на аренду помещения	1.9%
						Категория	Процент										
Затраты на основное оборудование	80.2%																
Зарботная плата	17.1%																
Затраты на электроэнергию	0.3%																
Затраты на амортизацию оборудования	0.5%																
Затраты на аренду помещения	1.9%																
Справ. №																	
Подпись и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.													
<table border="1"> <tr> <td>Изм</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпис</td> <td>Дата</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					Изм	Лист	№ докум.	Подпис	Дата								
Изм	Лист	№ докум.	Подпис	Дата													
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> БР – 15.03.06 ПЗ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> Лист 38 </div> </div>																	

Перв. примен.	<h2>7 Безопасность и экологичность мобильной платформы</h2> <p>Целью данного раздела является показать безопасность и экологичность дипломного проекта, основная тема которого: разработка мобильной платформы. Место выполнения работы – лаборатория кафедры «Робототехника и техническая кибернетика». Работа нацелена на повышение качества функционирования мобильной платформы для решения широкого круга задач в сфере автоматизации производственного процесса.</p>					
	Справ. №	<h3>7.1 Безопасность мобильной платформы</h3> <p>Мобильная платформа должна обеспечивать все необходимые требования безопасности при хранении и эксплуатации.</p>				
			<h4>7.1.1 Безопасность оборудования мобильной платформы</h4> <p>Оборудование МК должно обеспечивать требования безопасности при монтажных работах, эксплуатации и ремонте, транспортировании и хранении.</p> <p>Большая часть мер безопасности реализована на проектном этапе. На этом уровне проектирования в конструкцию оборудования закладываются более пяти десятков различных требований безопасности в соответствии с положениями более двух десятков стандартов системы стандартов безопасности труда(ССБТ) и других нормативных документов.</p> <p>Безопасность оборудования МК в соответствии с требованиями ГОСТ 12.0.001, ГОСТ12.2.003, ГОСТ12.2.026 и ГОСТ12.0.003 обеспечивается:</p> <ul style="list-style-type: none"> • выбором принципов действия, конструктивных схем, безопасных элементов конструкции и т. п.; • применением в конструкции безопасных материалов и веществ; • применением в конструкции средств механизации, автоматизации и дистанционного управления; • выполнением эргономических и эстетических требований; • выбором безопасных органов управления; • применением в конструкции средств защиты; • соблюдением требований безопасности при эксплуатации, монтажных работах, транспортировании и хранении; • размещением оборудования на площадке; • профессиональным отбором и обучением работающих; • выбором электрооборудования и конструкции оборудования с учетом пожарной безопасности; • включением требований безопасности в техническую документацию по монтажу, эксплуатации, ремонту, транспортированию и хранению; • контролем за соблюдением требований безопасности, правил эксплуатации и трудового законодательства по охране труда работающими. <p>В данном проекте разработаны меры по обеспечению безопасной эксплуатации оборудования в течение всего срока службы.</p>			
	Инв. № подл.		Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата		
Изм	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		

БР – 15.03.06 ПЗ

Лист 55

Перв. примен.	<p>Оборудование МК при эксплуатации и в условиях, установленных эксплуатационной и ремонтной документацией по ГОСТ 2.601 и ГОСТ 2.602, не должно создавать опасности в чрезвычайных ситуациях в результате воздействия влажности, высокой температуры, солнечной радиации, механических колебаний, высоких и низких давлений, агрессивных веществ, ветровых нагрузок, обледенения и других негативных факторов, которые имеют место при чрезвычайных ситуациях.</p> <p>7.1.2 Безопасность исходных материалов</p> <p>Безопасность МК обеспечивается использованием в конструкции безопасных материалов и веществ. Согласно требованиям, ГОСТ 12.3.002-75:</p> <ul style="list-style-type: none"> • материалы конструкции МК не оказывают вредного действия на работающих. При использовании материалов, которые могут оказывать вредное воздействие, предусмотрены соответствующие средства защиты работающих; • использование новых веществ и материалов разрешено только после утверждения в установленном порядке соответствующих гигиенических нормативов. <p>Таблица 7.1 – Материалы, входящие в конструкцию МП</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименование материалов</th> <th>Класс опасности</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Каркас установки из алюминия</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Электрические силовые и сигнальные кабели</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Литий-ионные аккумуляторы</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Все вещества и материалы прошли гигиеническую проверку и поверку на пожароопасность. Материалы конструкции оборудования (таблица 7.1) не оказывают опасного и вредного воздействия на организм человека на всех заданных режимах работы и предусмотренных условиях эксплуатации, а также не создают пожаровзрывоопасные ситуации.</p> <p>7.1.3 Безопасность при монтажных и ремонтных работах</p> <p>Безопасность при монтажных и ремонтных работах обеспечивается средствами защиты, инструментами и приспособлениями, которые удовлетворяют требованиям соответствующих государственных стандартов.</p> <p>Средства защиты, инструменты и приспособления подвергаются осмотру и испытаниям.</p> <p>К обслуживанию изделия допускаются лица, прошедшие специальный инструктаж и изучившие данное техническое описание и инструкцию по эксплуатации.</p>					Наименование материалов	Класс опасности	Каркас установки из алюминия	4	Электрические силовые и сигнальные кабели	4	Литий-ионные аккумуляторы	2
	Наименование материалов	Класс опасности											
Каркас установки из алюминия	4												
Электрические силовые и сигнальные кабели	4												
Литий-ионные аккумуляторы	2												
Справ. №													
Подпись и Дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и Дата	Инв. № подл.	<div> <div> <div></div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div></div> <div></div> </div> </div>								
					<div> <div>Изм</div> <div>Лист</div> <div>№ докум.</div> <div>Подпис</div> <div>Дата</div> </div>								
<div> <div>БР – 15.03.06 ПЗ</div> <div>Лист</div> </div>					<div>56</div>								

Перв. примен.	<p>При монтаже и эксплуатации должны соблюдаться:</p> <ul style="list-style-type: none">• правила устройства электроустановок;• правила технической эксплуатации электроустановок потребителей;• правила технической безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей.										
	<p>7.1.4 Безопасность при транспортировке и хранении</p> <p>Масса МП вместе с аккумуляторами составляет примерно 14 кг и поэтому нет необходимости в использовании грузоподъемных средств в процессе монтажа, транспортировки, хранения и ремонта на производственном оборудовании.</p> <p>Конструкция МП обеспечивает возможность надёжного закрепления её составных частей на транспортном средстве или в упаковочной таре, и имеет устройства для их фиксации в определённом положении. Помещение для хранения должно быть сухим и не пыльным, в помещении не должно быть сильных электромагнитных установок.</p>										
Справ. №	<p>7.1.5 Безопасность при размещении</p> <p>Согласно требованиям, ГОСТ 12.3.002-75, ГОСТ 12.3.003-91, ГОСТ 12.3.061-81, СНиП 31-01-03:</p> <ul style="list-style-type: none">• производственные (рабочие, монтажные) площадки, на которых выполняются работы вне производственных помещений, соответствуют требованиям действующих строительных норм и правил, а также правил, утвержденных органами государственного надзора;• размещение МП соответствует действующим нормам технологического проектирования;• организация рабочих мест оператора ПК отвечает требованиям безопасности с учетом эргономических требований, устанавливаемых в государственных стандартах на конкретные производственные процессы, производственное оборудование и рабочие места.										
	<p>7.1.6 Требования безопасности к профессиональному отбору</p> <p>К обслуживанию и пользованию мобильной платформой допускаются лица:</p> <ul style="list-style-type: none">• имеющие профессиональную подготовку в высших или среднетехнических заведениях;• прошедшие инструктаж, обучение и проверку знаний по охране труда;• не имеющие медицинских противопоказаний.										
Подпись и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.							
					БР – 15.03.06 ПЗ					Лист	
										57	
					Изм	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		

Перв. примен.	<h3>7.1.7 Пожарная безопасность</h3> <p>Пожарная безопасность оборудования должна быть обеспечена в соответствии с требованиями настоящих стандартов, ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.1.018, ГОСТ 12.2.007.0, ПУЭ, ПТЭ, и ПТБ, СНиП 3.05.06, СНиП 3.05.07. С учётом этих показателей выбран тип исполнения, вид взрыво-защиты электрооборудования и степень его защиты от пыли и влаги.</p> <p>Для обеспечения пожарной безопасности объекта, где предполагается использовать МК необходимо использовать мероприятия пожарной профилактики:</p> <ul style="list-style-type: none"> • организационные (инструктаж персонала, разработка плана эвакуации и т.д.); • технические (устройство не горючих перегородок); • режимные (курение в специальных местах); • эксплуатационные (профилактические осмотры). 														
	Справ. №	<h3>7.1.8 Контроль выполнения требований безопасности</h3> <p>Контроль за выполнением требований безопасности при эксплуатации мобильной платформы возлагается на должностные лица в соответствии с правовыми и нормативными документами по созданию безопасности и нормальных условий труда.</p>													
Подпись и Дата		<h3>7.1.9 Безопасность при чрезвычайных ситуациях</h3> <p>При возникновении ЧС необходимо:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) отключить электропитание установки; 2) выполнить предписание должностных инструкций; 3) покинуть здание и поступить в распоряжение начальника ГО и ЧС. 													
	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	<h3>7.2 Экологическая безопасность мобильной платформы</h3> <p>Одним из экологических показателей является экологическая безопасность исходных материалов и веществ, входящих в конструкцию оборудования. При изготовлении и эксплуатации мобильной платформы выполнены все нормативные природоохранные требования. В конструкции МК применены безопасные и экологичные в соответствии со стандартами ССБТ и охраны окружающей среды, сертифицированные материалы и вещества, прошедшие 1 гигиеническую проверку и проверку на пожароопасность.</p>												
Подпись и Дата			<h3>7.2.1 Экологическая безопасность исходных материалов</h3> <p>Одним из экологических показателей является экологическая безопасность исходных материалов и веществ, входящих в конструкцию оборудования. При изготовлении и эксплуатации МК выполнены все нормативные природоохранные требования. В конструкции МК применены безопасные и экологичные в соответствии со стандартами ССБТ и охраны окружающей среды,</p>												
	Инв. № подл.	<table border="1"> <tr> <td>Изм</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дата</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>					Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Изм		Лист	№ докум.	Подпись	Дата										
<div style="text-align: right;">БР – 15.03.06 ПЗ</div>					<div style="text-align: right;">Лист 58</div>										

сертифицированные материалы и вещества, прошедшие 1 гигиеническую проверку и проверку на пожароопасность.

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

ИНВ. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

ИНВ. № ПОДЛ.

Лист

БР – 15.03.06 ПЗ

59

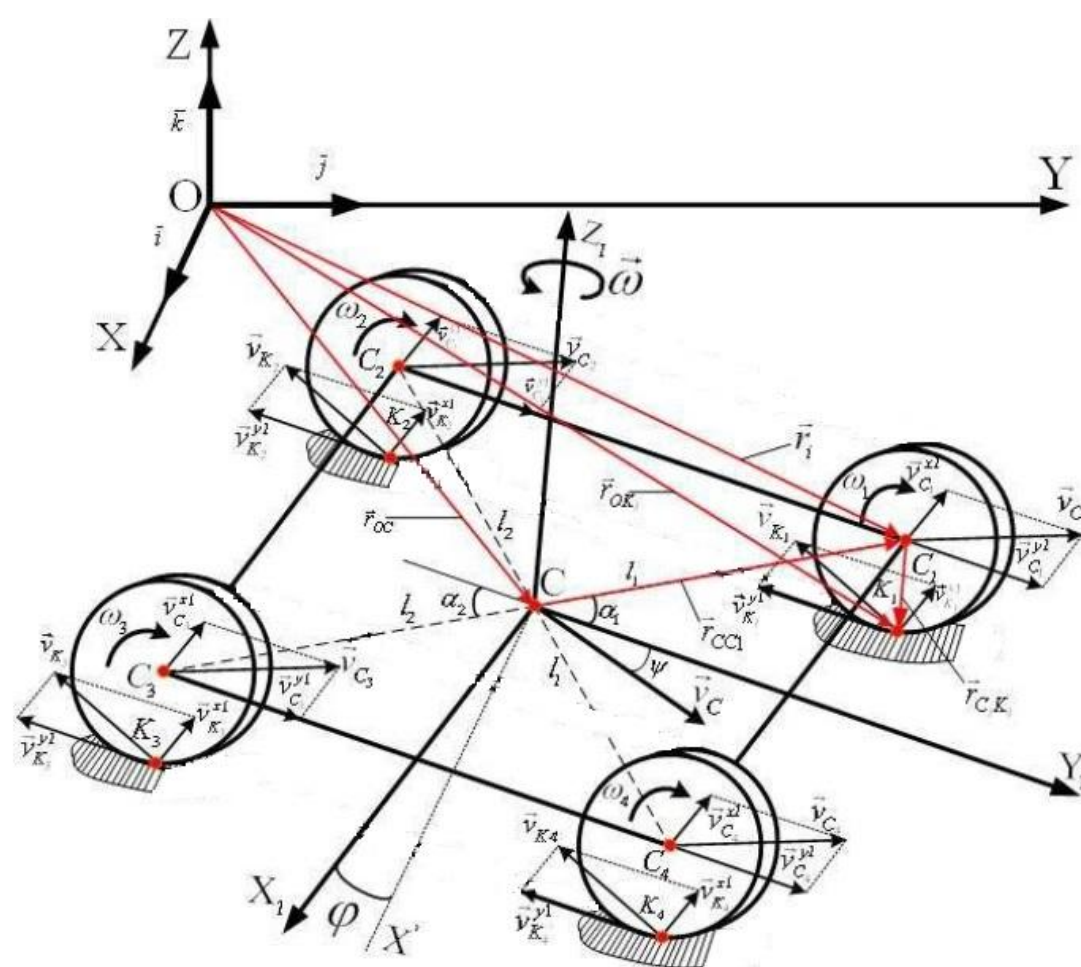
ИЗМ.

Лист

№ локвм.

Полпис

Дата

Перв. примен.	<h2>8 Разработка учебно-методического комплекса</h2> <p>Целью разработки учебно-методического комплекса является дальнейшее обучение студентов по темам, связанным с целью выпускной квалификационной работы.</p> <h3>8.1 Лабораторная работа №1</h3> <p>Название работы: кинематический анализ движения мобильных роботов с дифференциальным приводом.</p> <p>Цель работы: кинематическое описание движения робота по заданной траектории и определение радиуса поворота робота, при котором появляется проскальзывание колёс.</p>					
	Справ. №	<h4>8.1.1 Теоретические сведения</h4>				
Подпись и дата						
	Взам. инв. №	<p>Рисунок 8.1 – Расчётная схема мобильного робота</p>				
Подпись и дата		<p>На схеме, изображённой на рисунке 8.1, приняты следующие обозначения: $XOYZ$ - неподвижная система координат; $CX_1Y_1Z_1$ - подвижная система координат; C_1, C_2, C_3, C_4 - точки крепления центров колёс;</p>				
	Инв. № подл.	<div>БР – 15.03.06 ПЗ</div>				
Изм.		Лист	№ докум.	Подпис	Дата	Лист
						60

Перв. примен.	<p> K_1, K_2, K_3, K_4 - точки контакта колёс с поверхностью; $\vec{v}_{C1}, \vec{v}_{C2}, \vec{v}_{C3}, \vec{v}_{C4}$ - скорости точек крепления колёс; $\vec{v}_{C1}^{x1}, \vec{v}_{C2}^{x2}, \vec{v}_{C3}^{x3}, \vec{v}_{C4}^{x4}$ - проекции скоростей точек крепления центров колёс на ось CX_1; $\vec{v}_{C1}^{y1}, \vec{v}_{C2}^{y2}, \vec{v}_{C3}^{y3}, \vec{v}_{C4}^{y4}$ - проекции скоростей точек крепления центров колёс на ось CY_1; $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ - угловые скорости вращения колёс; l_1 - расстояние от центра масс до 1-го и 4-го колёс; l_2 - расстояние от центра масс до 2-го и 3-го колёс; φ - угол поворота корпуса робота вокруг оси CZ_1; α_1, α_2 - угол между линией CC_1 и осью CY_1 (α_1 для $i = 1, 4$; α_2 для $i = 2, 3$ соответственно). </p> <p> Определим радиус-вектор, описывающий движение корпуса робота в неподвижной системе координат: </p> $\vec{r}_{OC} = \begin{bmatrix} x_C \\ y_C \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (8.1)$ <p> где x_C и y_C - проекции радиус-вектора в абсолютной системе координат. </p> <p> Для определения скорости центра масс продифференцируем выражение: </p> $\frac{d\vec{r}_{OC}}{dt} = \begin{bmatrix} v_C \cos(\psi) \\ v_C \sin(\psi) \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_C^{x1} \\ v_C^{y1} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (8.2)$ <p> При этом скорость центра масс в системе координат $CX_1Y_1Z_1$ будет иметь вид: </p> $\vec{v}_C^{(1)} = \begin{bmatrix} v_C \cos(\psi) \\ v_C \sin(\psi) \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_C^{x1} \\ v_C^{y1} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (8.3)$ <p> а в системе координат $XOYZ$: </p> $\vec{v}_C^{(0)} = \begin{bmatrix} v_C \cos(\varphi + \psi) \\ v_C \sin(\varphi + \psi) \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v^x \\ v^y \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (8.4)$				
	Справ. №				

Инва. № подл.	Подпись и Дата	Взам. инв. №	Инва. № дубл.	Подпись и Дата	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="width: 40%;"> <p>Изм. Лист № докум. Подпись Дата</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;"> <p>БР – 15.03.06 ПЗ</p> </div> <div style="width: 10%; text-align: center;"> <p>Лист</p> <p>61</p> </div> </div>				

Перв. примен.	Угловая скорость корпуса робота $\vec{\omega}$ определяется следующим образом:				
	$\vec{\omega} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\phi} \end{bmatrix}, \tag{8.5}$				
Справ. №	Определим радиус-вектор точек закрепления колёс робота как:				
	$\vec{r}_i = \vec{r}_{OC} + \vec{r}_{CCi}, i = 1..4 \tag{8.6}$				
	Скорости этих точек могут быть получены как:				
	$\vec{v}_{Ci} = \frac{d\vec{r}_i}{dt} = \frac{d\vec{r}_{OC}}{dt} + \frac{d\vec{r}_{CC}}{dt}, \tag{8.7}$				
	или				
	$\frac{d\vec{r}_i}{dt} = \frac{d\vec{r}_{OC}}{dt} + \vec{\omega} \times \vec{r}_{CCi}, \tag{8.8}$				
	$\vec{v}_{Ci} = \vec{v}_C + \vec{\omega} \times \vec{r}_{CCi}. \tag{8.9}$				
	Аналогичным образом можем записать для точек контакта с поверхностью:				
Подпись и дата	$\vec{r}_{Ki}^{(0)} = \vec{r}_i + \vec{r}_{CiKi}, \tag{8.10}$				
Инв. № дубл.	$\frac{d\vec{r}_{Ki}}{dt} = \frac{d\vec{r}_i}{dt} + \frac{d\vec{r}_{CiKi}}{dt}, \tag{8.11}$				
Взам. инв. №	$\vec{v}_{Ki}^{(0)} = \vec{v}_{Ci} + \vec{\omega}_i \times \vec{r}_{CiKi}, \tag{8.12}$				
Подпись и дата	$\vec{v}_{Ki}^{(0)} = \begin{bmatrix} \dot{x}_{Ki} \\ \dot{y}_{Ki} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x}_{Ci} \\ \dot{y}_{Ci} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ \omega_{1x} & \omega_{1y} & 0 \\ 0 & 0 & r_{CiKi} \end{bmatrix}. \tag{8.13}$				
Инв. № подл.	где $\vec{v}_{Ki}^{(0)}$ - скорость точек K_i в абсолютной системе координат.				
<div><div>Изм.</div><div>Лист</div><div>№ докум.</div><div>Подпись</div><div>Дата</div></div> <div>БР – 15.03.06 ПЗ</div> <div>Лист</div> <div>62</div>					

$$T_{10} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (8.14)$$

$$T_{10}^{-1} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (8.15)$$

$$\vec{v}_{K_i}^{(1)} = T_{10}^{-1} \vec{v}_{K_i}^{(0)}. \quad (8.16)$$

где $\vec{v}_{K_i}^{(1)}$ - скорость точек K_i в относительной системе координат.

Положение точек центров колёс робота задаётся следующими проекциями:

$$\begin{cases} x_{C_1} = x_C + l_1 \cos(\varphi + \alpha_1) \\ y_{C_1} = y_C + l_1 \sin(\varphi + \alpha_1) \end{cases}, \begin{cases} x_{C_2} = x_C + l_1 \cos(\varphi - \alpha_1) \\ y_{C_2} = y_C + l_1 \sin(\varphi - \alpha_1) \end{cases}, \quad (8.17)$$

$$\begin{cases} x_{C_3} = x_C - l_2 \cos(\varphi + \alpha_2) \\ y_{C_3} = y_C - l_2 \sin(\varphi + \alpha_2) \end{cases}, \begin{cases} x_{C_4} = x_C - l_2 \cos(\varphi - \alpha_2) \\ y_{C_4} = y_C - l_2 \sin(\varphi - \alpha_2) \end{cases},$$

где x_{C_i}, y_{C_i} - координаты центра i - го катка, x_C, y_C - координаты центра масс мобильной платформы.

8.1.2 Ход работы

Анализ движения по окружности. Пусть центр масс корпуса робота движется по окружности, координаты которого задаются уравнениями:

$$\begin{cases} x_C = R \cos(\omega t), \\ y_C = R \sin(\omega t), \end{cases} \quad (8.18)$$

где R - радиус кривизны окружности, по которому движется центр масс робота; ω - угловая скорость корпуса робота. Будем считать, что $\omega = \dot{\varphi}$, подвижная ось CY_1 всегда направлена по касательной к траектории, и угол φ

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Справ. №	Перв. примен.

изменяется по заданному закону, то есть $\varphi = \omega t + \varphi_0$, где φ_0 - начальный угол, определяющий положение робота на траектории.

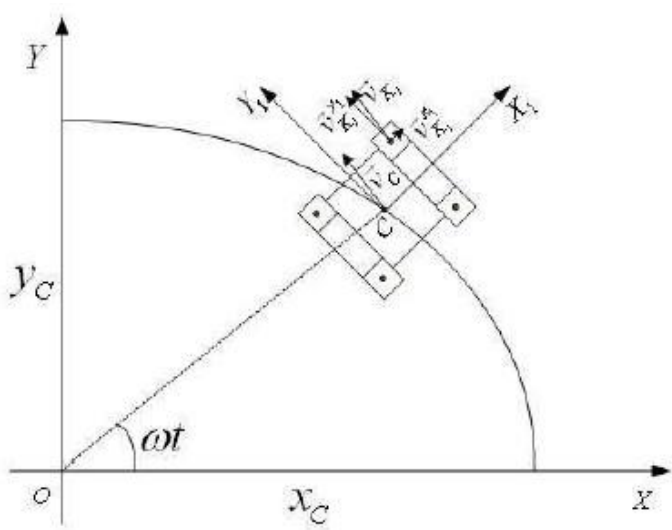


Рисунок 8.2 – Схема движения робота

Проведём моделирование движения робота и определим траекторию. Результаты моделирования представлены на рисунках 8.3-8.5.

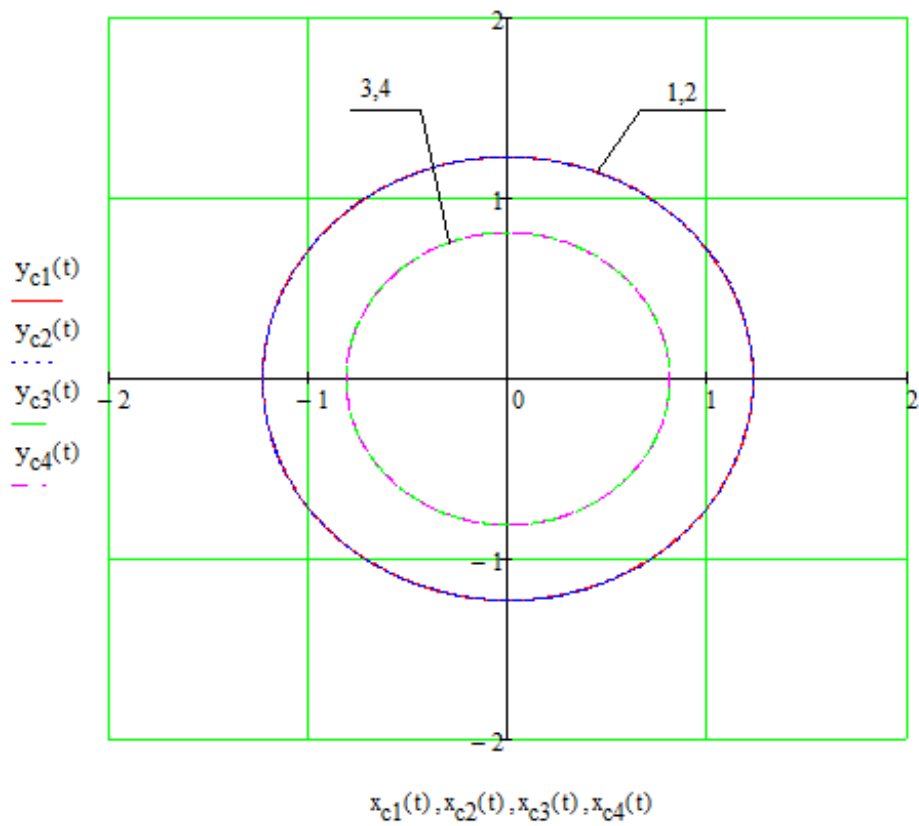
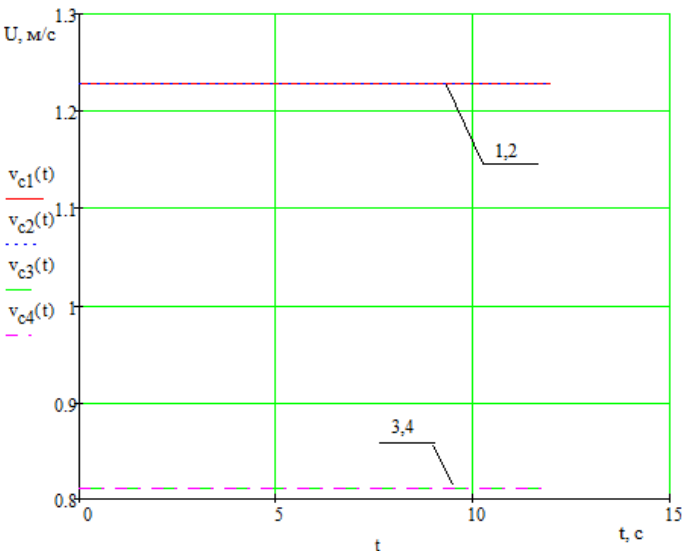
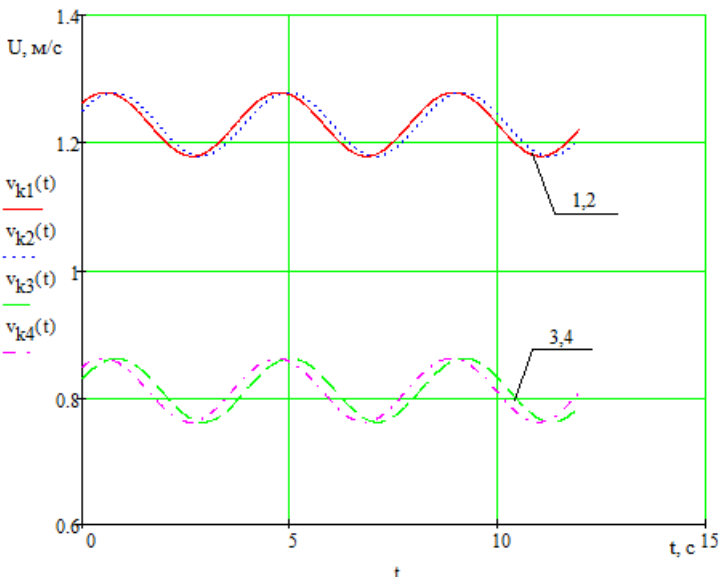


Рисунок 8.3 – Траектория движения робота по окружности

Перв. примен.	На рисунке 8.3 цифрами 1,2 обозначены траектории забегающих колёс, а цифрами 3,4 – траектории отстающих колёс. Как видно из графика, центр масс движется по окружности с радиусом $R=1$ м, что совпадает с указанным в задании значением.						
							
Справ. №	Рисунок 8.4 – Временная диаграмма скорости центров колёс робота						
Отметим, что колеса с номерами 1 и 2 являются забегающими, описывающими больший радиус и как следствие имеющие большую скорость, чем скорость отстающих колёс 3 и 4.							
Подпись и дата							
	Рисунок 8.5 – Скорость точки колеса						
Подпись и дата	Как видно из рисунка 8.4, скорость любой точки на колесе меняется синусоидально и зависит от угловой скорости вращения колеса.						
Инв. № подл.							
Взам. инв. №							
Инв. № дубл.							
Подпись и дата							
<table><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ докум.</td><td>Подпись</td><td>Дата</td></tr></table>			Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
БР – 15.03.06 ПЗ							
Лист 65							

Перв. примен.	<p><i>Анализ движения по спирали.</i> При движении по криволинейной траектории в точке контакта колёс с поверхностью возникает продольное проскальзывание. Для оценки величины проскальзывания осуществим моделирование движения мобильного робота по спиралевидной траектории, при которой радиус окружности будет изменяться во времени, то есть $R=R(t)$.</p> <p>В данном случае, координаты центра масс будут задаваться уравнениями:</p> $\begin{cases} x_C = R(t) \cos(\omega t); \\ y_C = R(t) \sin(\omega t); \end{cases} \quad (8.19)$ <p>Выполним численный расчёт движения робота в MathCAD и получим график траектории движения робота. Также, построим графики зависимости скорости точки на колесе во времени. Результаты моделирования изображены на рисунках 8.6-8.8.</p>  <p>Рисунок 8.6 – Траектория движения колёс при спиральном движении</p>				
Справ. №					
Подпись и Дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и Дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата	<div>Лист</div> <div>66</div>
БР – 15.03.06 ПЗ					

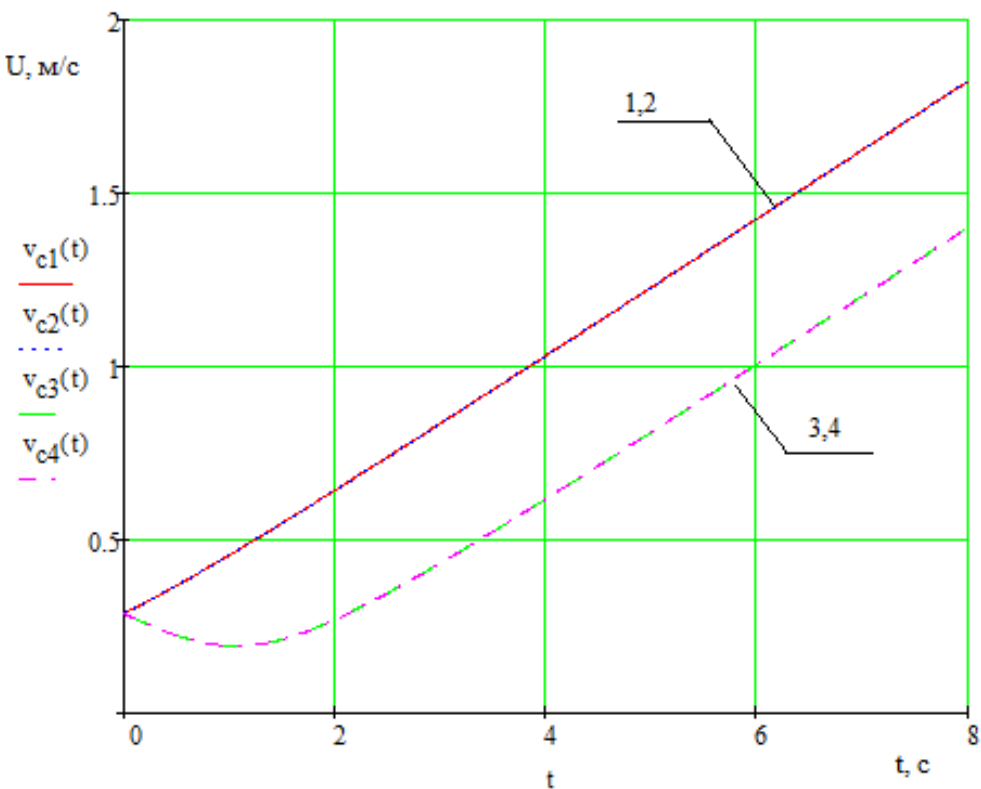


Рисунок 8.7 – Временная диаграмма скорости колёс

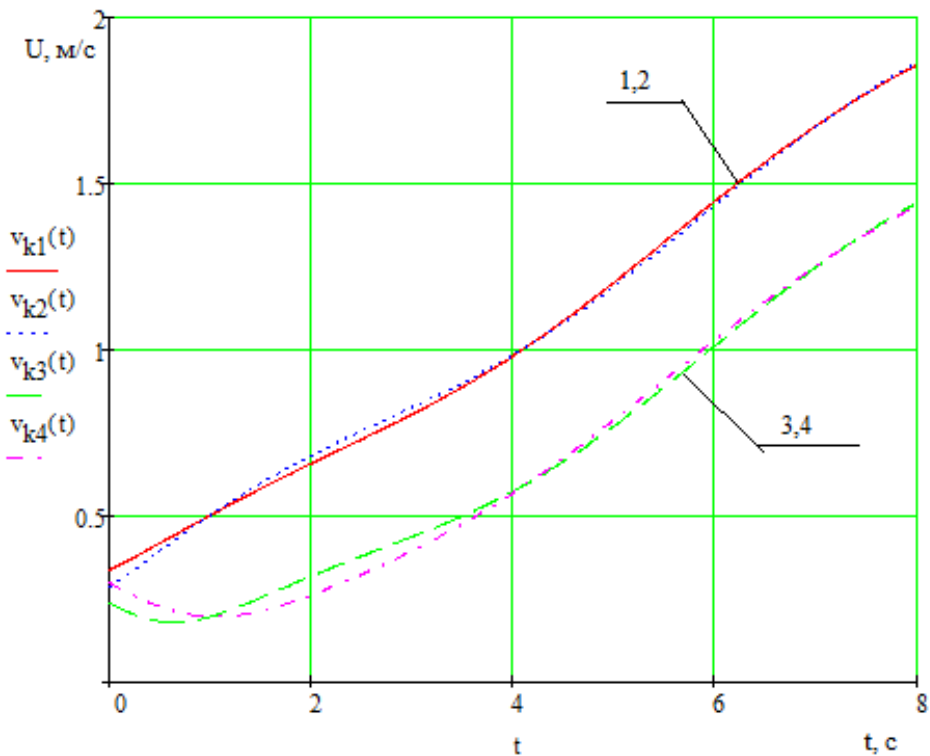


Рисунок 8.8 – Временная диаграмма скорости точки на колесе

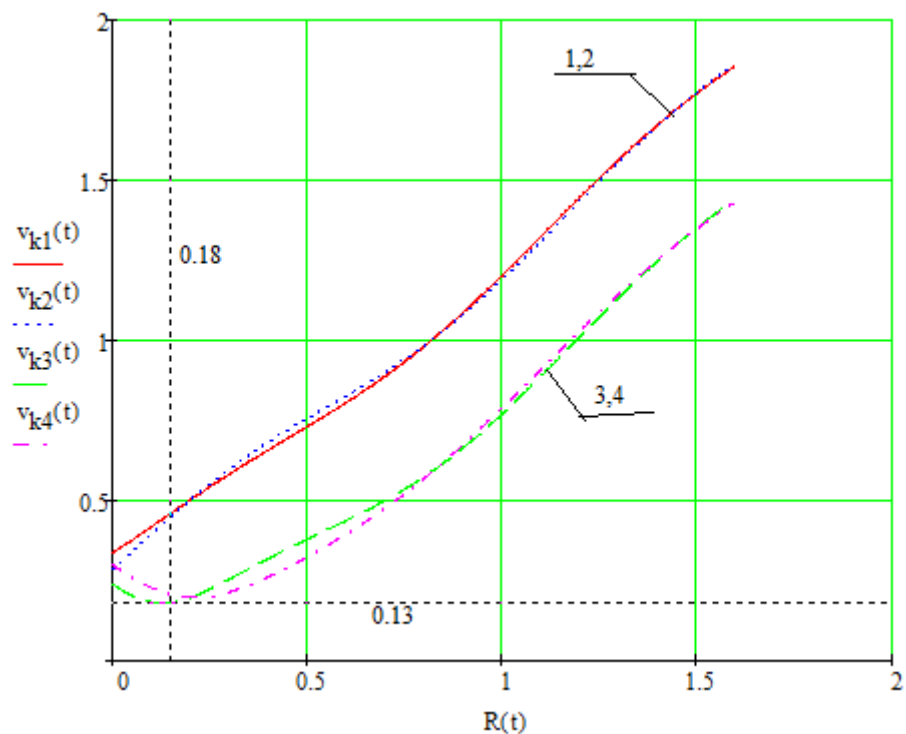


Рисунок 8.9 – Зависимость проскальзывания от радиуса кривизны

Как видно из графика, величина продольного проскальзывания нелинейно зависит от радиуса кривизны криволинейной траектории. Характерной является точка, обозначенная на рисунке 8.9, где $R=0.18\text{м}$. В данном случае скорость второго опорного колеса робота, являющегося ведомым в колёсной паре, становится близкой к нулю. По сути, в этот момент времени робот начинает вращаться относительно оси, наиболее близкой к этому колесу. После этого момента, когда $R>0.18\text{м}$, скорость всех колёс имеет вид возрастающей, близкой к прямой, линии. Это обусловлено тем, что радиус кривизны линейно изменяется (увеличивается) во времени.

Перв. примен.		<div>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</div> <div>В процессе работы были проанализированы существующие на сегодняшний день мобильные роботы – их конструкция, электроника и системы управления. На основе этого была разработана собственная мобильная платформа и двухконтурная система подчинённого регулирования.</div> <div>Данная мобильная платформа отвечает всем современным стандартам, связанным с конструкцией и точности, предъявляемой к системе управления. Поэтому можно считать, что поставленная задача выпускной квалификационной работы выполнена успешно.</div>				
	Справ. №					
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
						69
Изм	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		

Перв. примен.		<p align="center">Список использованных источников</p> <p>1. Курсовое проектирование деталей машин: Учебное пособие / С.А. Чернавский, К.Н. Боков, И.М. Чернена, Г.М. Ицкович, В.П. Козницов. – 3-е изд., стереотипное. Перепечатка с издания 1987 г. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2005. – 416 с.</p> <p>2. Детали машин: Учебник для машиностроительных техникумов/ Ю.Н. Березовский, Д.В. Чернилевский. – М.: Машиностроение, 1983.– 384 с., ил.</p> <p>3. Планета САМ. Информационно-аналитический электронный журнал. Режим доступа: http://planetacam.ru/choice/powermill.</p> <p>4. Делкам Урал. Компьютерные технологии в инженерном деле. Режим доступа: http://www.delcam-ural.ru/cam/powermill_2015_r2</p> <p>5. Детали машин: Атлас конструкций: Учеб. пособие для студентов машиностроительных специальностей вузов. В 2-х ч. Ч.1/Б.А. Байков, В.Н. Богачев и др.; Под ред. Д.Н. Решетова. – 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992. – 352 с., ил.</p> <p>6. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: Учеб. Пособие. – В 10-ти т. Т. I. Механика. – 4-к изд., испр -М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. Лит., 1988. – 216 с.</p> <p>7. Туладхар Д., Лупехина И.В., Яцун С.Ф., Политов Е.Н. Математическое моделирование динамики движения двухколесного транспортного средства (ДТС) в фазе торможения переднего колеса // Естественные и технические науки. – 2010. – № 6. – С.578-581.</p> <p>8. Девянин Е.А. О движении колесных роботов // Доклады научной школы конференции <Мобильные роботы и мехатронные системы>. Москва, 1-3 декабря 1998 года. М.: НИИ механики МГУ, 1998. С. 169-200.</p> <p>9. Буданов В.М., Девянин Е.А. «О движении колесных роботов», Прикладная математика и механика, т.67, вып. 2, 2003 г.</p> <p>10. Смольников А. П. Теория автоматического управления. Линейные системы: Учеб. Пособие по курсовому и дипломному проектированию / А.П. Смольников. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. 99 с.</p> <p>11. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. - Изд. 4-е, перераб. и доп. - СПб, Изд-во “Профессия”, 2003. - 725 с. - (Серия: Специалист).</p> <p>12. Школа для электрика. Двигатели постоянного тока. – Режим доступа: http://electricalschool.info.</p> <p>13. Системы автоматизированного проектирования. Система сквозного проектирования Altium Designer. Режим доступа: http://rodnik.ru.</p>				
Справ. №						
Подпись и дата						
Инв. № дубл.						
Взам. инв. №						
Подпись и дата						
Инв. № подл.						
Изм	Лист	№ докум.	Подпис	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ	
					70	

Перв. примен.	<p>14. Трамперт В. Измерение, управление и регулирование с помощью AVR-микроконтроллеров.: Пер. с нем. – К.:”МК-Пресс”, 2006. – 208с., ил.</p> <p>15. Угрюмов Е. П. Цифровая схемотехника. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 528 с.: ил.</p> <p>16. Попков О. З. Основы преобразовательной техники: учеб. Пособие для вузов/ О.З. Попков. 2-е изд., стереот. – М. : Издательский дом МЭИ, 2007. – 200 с.: ил.</p> <p>17. Wiki-портал сайта roboforum.ru. Н-мост. – Режим доступа: http://roboforum.ru/wiki.</p> <p>18. Бурдаков С. Ф., Мирошник И. В., Стельмаков Р. Э. Системы управления движением колёсных роботов. – СПб.: Наука, 2001. – 227 с., ил. 91</p> <p>19. Нелинейная динамика. 2011. Т.7 №4 (Мобильные роботы). С. 733-769.</p> <p>20. Стандарт организации «Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности» от 2014 г., № СТО 4.2-07-2014.</p>				
	Справ. №				
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					
					Лист
БР – 15.03.06 ПЗ					71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата	